PROPUESTA DE MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA “LA RAPIDA” MEDIANTE UN PROCESO DE FILTRACION DIRECTA

ANA MELISSA GRANADOS ROBLES

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGIA EN TOPOGRAFÍA
BOGOTÁ D.C.
2016

PROPUESTA DE MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL ACUEDUCTO EN LA VEREDA “LAS QUINAS” MEDIANTE UN PROCESO DE FILTRACION DIRECTA

ANA MELISSA GRANADOS ROBLES
CODIGO: 20122031043

Proyecto de Grado para optar al título de Tecnólogo en Topografía

Director:
OLGA LUCIA GODOY MORALES

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANSICO JOSE DE CALDAS
FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGIA EN TOPOGRAFÍA
BOGOTÁ D.C.
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____
Firma del Director

_____
Firma del Jurado

_____
Firma del Jurado

BOGOTÁ D.C. Día ____ Mes _____ Año_____

ARTICULO 117

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas no será responsable de las ideas expuestas por el graduado en el trabajo de grado, según el acuerdo 029 de 1988

Resumen

La vereda La Rápida ubicada en el municipio de San Antonio del Tequendama, cuenta con la quebrada Las Quinas, está quebrada es la única fuente de abastecimiento que tienen los habitantes de esta vereda. Desafortunadamente la calidad del agua tiene aspectos negativos debido a los inexistentes procesos de potabilización que tiene su acueducto, y a los factores contaminantes presentes en la fuente hídrica. Ante el inconveniente de la fuente del agua de la quebrada, el objetivo general del proyecto fue diseñar un sistema de un proceso de filtración directa por medio del diseño de un filtro rápido de arena, como proceso unitario para mejorar la calidad del agua.

Durante la realización del diseño, se realizaron análisis de tipo microbiológico y físico con los cuales se determinó la calidad del agua de la quebrada, de igual manera se hizo un análisis granulométrico a los suelos usados en el diseño del filtro es decir arena de rio y gravilla, esto con el fin de establecer el coeficiente de uniformidad. Por otra parte, se realizó un levantamiento censal correspondiente a la comunidad de la vereda La Rápida, con lo cual se determinó información estadística.

En cuanto al diseño del filtro fue necesario realizar un levantamiento topográfico simple el cual delimito el terreno apropiado para su ubicación y por último se realizó un prototipo del filtro a escala, que determino su efectividad y el caudal de entrada al filtro diseñado. De esta manera se comprobó como un sistema de purificación del agua, por medio de la filtración es beneficioso para la comunidad de la vereda La Rápida.

PALABRAS CLAVE: Filtro rápido, filtración, diseño, purificación y calidad del agua.

Abstract

The lane “La Rapida” located in the municipality of San Antonio at Tequendamain; it has a ravine called “Las Quinas”, this ravine is the only source of supply to the village’s dwellers. Unfortunately, water quality has negative aspects due to ineffective water purification treatment process that has its aqueduct, and polluting factors present in the water source. Due the disadvantage at the ravine water fountain, the general objective of this project was to design a system of direct filtration process, through the design of a rapid sand filter, as a unitary process to improve water quality.

During the design realization, were made microbiological and physical analysis, with which was determined the water quality of the ravine, in the same way, it was made a granulometric analysis to the soils used in the filter design, that is, river sand and gravel, this in order to establish the uniformity coefficient. On the other hand, was held a census uprising corresponding to the community of the village of "La Rapida", which determined statistical information. Regarding the design of the filter, it was necessary to perform a topographic simple uprising which delimited the proper ground for its location and finally, a scale prototype filter; it determined its effectiveness and flow into the filter designed. Thus, it was established as a system of water purification through filtration, it is beneficial to the community of the village of "La Rapida".

KEY WORDS: Rapid filter, filtration, design, purification and water quality.

Contenido

1 Introducción 14
2 Objetivos 16
2.1 Objetivo general 16
2.2 Objetivos Específicos 16
3 Preguntas 17
4 Marco Referencial 18
4.1 Ubicación Geográfica de la Vereda La Rápida 18
4.2 Filtración 19
4.2.1 Mecanismos del transporte de solidos 19
4.2.2 Tipos de Filtración 20
4.2.2.1 Filtración Lenta 21
4.2.2.2 Filtración Rápida 21
4.2.3 Filtros de Arena 22
4.3 Estudios de la Calidad del Agua 24
4.4 Normatividad Vigente sobre la Calidad del agua 25
5 Metodología 26
5.1 Recopilación y Manipulación de la Información 26
5.1.1 Información sobre los Sistemas de Purificación del Acueducto 26
5.1.2 Consulta de información por fuentes bibliográficas 29
5.1.2.1 Velocidad de filtración 29
5.2.1.2 Tipo del medio poroso 29
5.2.1.3 Sentido del flujo y carga sobre su lecho granular 30
5.2 Toma del agua 32
5.3 Prueba del Filtro a escala 33
5.4 Estudios y análisis de laboratorios para la calidad del agua 34
5.4.1 Determinación de sólidos totales 35
5.4.2 Determinación de sólidos disueltos 36
5.4.3 Determinación de sólidos sedimentables 36
5.4.4 Determinación de turbidez 37
5.4.5 Determinación de PH 38

5.4.6 Coliformes Totales y Fecales 38
5.5 Cálculos, Dimensiones y Parámetros para el Diseño del Filtro Rápido 39
5.6 Encuestas e Información Censal 42
5.7 Levantamiento del terreno 43
5.7.1 Determinación del terreno a levantar 43
5.7.2 Materialización y configuración del equipo 44
5.7.3 Levantamiento de la superficie 45
5.7.4 Descarga de datos 46
5.8 Estudios y análisis para los laboratorios de suelos 46
5.8.1 Finos y pérdidas 46
5.8.2 Granulometría 47
5.9 Modelación y Planos Topográficos del Terreno Medido 49
6 Resultados 52
6.1 Resultados obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Aguas 52
6.1.1 Sólidos Sedimentables 52
6.1.2 Turbiedad 53
6.1.3 PH 53
6.1.4 Sólidos Disueltos 54
6.1.5 Sólidos Totales 54
6.1.6 Coliformes Totales y Fecales 55
6.2 Resultados obtenidos de la Información Censal: 60
6.3 Resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos 60
6.3.1 Resultados Arena de Rio 60
6.3.2 Resultados Gravilla 61
6.4 Resultados obtenidos en el Levantamiento Topográfico 61
7 Análisis de Resultados 62
7.1 Comparación entre los datos en el laboratorio de Calidad de Aguas y el Decreto 1575 de 2007 de las normas para la calidad del agua potable en Colombia. 62
7.2 Análisis de los Materiales Granulares 64
7.2.1 Granulometría 64
7.2.2 Curvas Granulométricas 65

7.2.3 Coeficiente de Uniformidad 66
7.3 Estadística Descriptiva de la Información Censal 67
7.3.1 Cálculos de Porcentajes 67
7.3.2 Gráficas de Ítems 68
8 Observaciones 74
9 Conclusiones 77
10 Bibliografía 78
11 Anexos 80

Contenido de Imágenes

Imagen 1: Bocatoma de la Quebrada Las Quinas 27
Imagen 2: Desarenador de la Quebrada Las Quinas 27
Imagen 3: Salida de la caja de distribución de la Quebrada Las Quinas 28
Imagen 4: Filtro de arena rápida 34
Imagen 5: Medidor TDS 36
Imagen 6: Cono Imhoff 37
Imagen 7: Nefelómetro 37
Imagen 8: Potenciómetro 38
Imagen 9: Fotografía de campo 44
Imagen 10: Fotografía de campo 45
Imagen 11: Arena de río antes de secarse 46
Imagen 12: Gravilla despúes de secarse 47
Imagen 13: Tamiz No. 4 48
Imagen 14: Columna de tamices 49
Imagen 15: Muestra anterior 1 55
Imagen 16: Muestra posterior 1 55
Imagen 17: Muestra anterior 2 56
Imagen 18: Muestra posterior 2 56
Imagen 19: Muestra anterior 3 56
Imagen 20: Muestra posterior 3 57
Imagen 21: Muestra anterior 1 57
Imagen 22: Muestra Posterior 1 57
Imagen 23: Muestra anterior 2 58
Imagen 24: Muestra posterior 2 58
Imagen 25: Muestra anterior 3 58
Imagen 26: Muestra posterior 3 59

Contenido de Tablas

Tabla 1: Mecanismos del transporte de sólidos 19
Tabla 2: Comparación entre los distintos tipos de filtro según su medio poroso 22
Tabla 3: Información sobre la toma de muestras 32
Tabla 4: Parámetros según el medio poroso 42
Tabla 5: Resultados de sólidos sedimentables 52
Tabla 6: Resultados de turbiedad 53
Tabla 7: Resultados de PH 53
Tabla 8: Resultados de sólidos disueltos 54
Tabla 9: Resultados de sólidos totales 54
Tabla 10: Pesos retenidos de la arena de río 60
Tabla 11: Pesos retenidos de la gravilla 61
Tabla 12: Resultados de la granulometría para la arena de río 64
Tabla 13: Resultados de la granulometría para la gravilla 65
Tabla 14: Porcentajes del olor y el sabor del agua 67
Tabla 15: Porcentajes del color y la purificación del agua 67
Tabla 16: Porcentajes de frecuencia y enfermedades causadas por el agua 68

Contenido de Ilustraciones

Ilustración 1: Mecanismos de Transporte de Sólidos 20
Ilustración 2: Filtro rápido de arena 23
Ilustración 3: Mapa conceptual de desarrollo con las actividades prácticas y procedimientos realizados en la metodología 31
Ilustración 4: Filtro de referencia 41
Ilustración 6: Navegador de mano GPS marca Garmin 44
Ilustración 7: Planta de la superficie 50
Ilustración 8: Perfil longitudinal 50
Ilustración 9: Vista de la superficie en 3D 51

Contenido de Gráficas

Gráfica 1: Curva granulométrica de la arena de río..... 65
Gráfica 2: Curva granulométrica de la gravilla 66
Gráfica 3: Olor..... 68
Gráfica 4: Sabor..... 69
Gráfica 5: Color..... 70
Gráfica 6: Purificación..... 70
Gráfica 7: Frecuencia..... 71
Gráfica 8: Enfermedades causadas por el agua 72
Gráfica 9: Comparación de las características..... 73

1 Introducción

La quebrada “Las Quinas” de la vereda La Rápida se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca, esta vereda presenta un tipo de terreno escarpado el cual es susceptible a la contaminación por factores externos e internos que llegan a perjudicar el agua de la quebrada, por lo tanto la presencia de un filtro y su manejo correcto, optimizaría drásticamente la calidad del agua, mejorando a su vez la vida de la comunidad en esta vereda, la cual está conformada por 190 habitantes.

Debido a las condiciones que presenta la zona de vida de esta quebrada, la mayoría de la población en esta vereda suple sus necesidades básicas y laborales con actividades agrícolas y/o pecuarias, que exigen un consumo de agua cuantioso y de buena calidad. El acueducto de la “Quebrada Las Quinas” es el que suple el agua para la vereda La Rápida, sin embargo el agua de esta fuente de abastecimiento cuenta con algunos aspectos negativos los cuales son agentes contaminantes de caracteres físicos y químicos, las causas de estos tipos de contaminación pueden ser vertimientos no controlados a causa del mal manejo de los propietarios de fincas, contaminación por residuos inorgánicos y sanitarios de personas debido a las actividades de turismo que hay en la zona y material orgánico en general, incluyendo desechos de animales en el agua. Junto a los anteriores inconvenientes se suma la inexistencia de un sistema de purificación del agua; a diferencia de un acueducto convencional el acueducto de Las Quinas cuenta con procesos que a pesar de mejorar la calidad y distribución del agua, no remueven del todo los agentes contaminantes que perjudican el desarrollo de la vida en la vereda La Rápida.

Así, se planteó como solución a los problemas ya mencionados el diseño de un filtro rápido de arena, para el cual se realizaron una serie de diversas actividades encabezadas por la toma del agua de la Quebrada Las Quinas, esto con el objetivo de corroborar como la propuesta de un sistema de purificación del agua por medio de la filtración puede mejorar la calidad de esta fuente, para esta actividad se determinó un lapso de tiempo entre la toma de las seis muestras de agua adquiridas, que luego fueron transportadas y almacenadas en Bogotá. A continuación se demostró la efectividad de la filtración en el agua por medio de un filtro a escala, que se elaboró previamente teniendo en cuenta que los materiales

granulares usados para componer los lechos filtrantes, fueron de arena de río y gravilla, de esta forma se filtraron tres de las seis muestras del agua.

Para determinar la eficacia del filtro se compararon los dos tipos de muestras referentes al agua filtrada y al agua sin filtrar en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en el cual las muestras se sometieron a análisis microbiológicos y físicos con el fin de establecer varios parámetros como el PH, turbiedad, sólidos sedimentables, sólidos totales y coliformes totales. Los suelos usados en el filtro fueron sometidos a estudios y análisis en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, esto con el fin de obtener la granulometría, coeficiente de uniformidad y curva granulométrica de cada material.

A demás de las actividades ya mencionadas fue necesario realizar un levantamiento censal con el fin de conocer la opinión que cada habitante de la vereda tenía sobre la calidad del agua, esto fue posible gracias a una encuesta que se otorgó a cada usuario que aprovechaba el servicio.

En lo que respecta al diseño del filtro se realizó un levantamiento topográfico simple que delimito el terreno de la obra, y la ubicación apropiada. Y a partir de la información suministrada durante este levantamiento se prosiguió a ejecutar la última actividad del trabajo, el diseño del filtro se llevó a cabo gracias a los datos obtenidos en el trabajo de campo que se ingresaron en el Software AutCAD Civil 2015, en donde se elaboraron los planos correspondientes al terreno y además el filtro diseñado con las dimensiones establecidas según la información consultada.

Esta actividad y las nombradas anteriormente se evidencian en el desarrollo del presente escrito.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseño de un sistema de filtración directa que mejore la calidad del agua en la quebrada "Las quinas" de la vereda La Rápida, ubicada en el departamento de Cundinamarca.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar por medio de un levantamiento de información censal la comunidad favorecida con el diseño.
- ✓ Establecer el terreno más apropiado para el diseño del filtro, por medio de un levantamiento topográfico simple.
- ✓ Demostrar por medio de los laboratorios realizados al agua, que el sistema filtrante propuesto mejorará la calidad del agua.

3 Preguntas

Durante el desarrollo del proyecto se plantearon las siguientes preguntas:

- ✓ ¿Qué tipos de análisis deben realizarse al agua de la quebrada Las quinas, para determinar si es adecuada para la población?
- ✓ ¿Cuántas personas serán beneficiadas con la adaptación del filtro de arena rápido en el acueducto?

4 Marco Referencial

En el desarrollo del presente capítulo se detalla la ubicación geográfica de la vereda La Rápida la cual contiene a la quebrada Las Quinas, esto con el objetivo de contextualizar acerca de su entorno y sus características físicas.

4.1 Ubicación Geográfica de la Vereda La Rápida

La Rápida es una vereda que hace parte del municipio de San Antonio del Tequendama en el departamento de Cundinamarca, esta vereda cuenta con un total de 190 habitantes establecidos en 44 predios, a los cuales se les abastece agua de la quebrada Las Quinas. Este territorio presenta un terreno escarpado y una altitud comprendida entre 1850 – 2300 msnm, además de ser atravesado por la vía principal "El colegio – el charquito" y la vía secundaria "La Victoria". La Rápida limita al norte con la vereda Quintas Colombia, al este con la vereda Arracachal, y al oeste con la vereda Vancouver.

El anexo 1, "Mapa de localización de la vereda La Rápida" presenta una imagen satelital de Google Earth a escala 1:15 000, la cual se georreferencio y digitalizó en el Software Arcgis. Contiene la ubicación de la vereda, las localidades principales de la zona, sitios turísticos y las vías principales y secundarias.

Así mismo dentro del marco referencial fue necesario establecer múltiples conceptos, procedimientos e ideas tales como filtración, tipos de filtración, medios porosos, filtros de arena, estudios de la calidad del agua y la normatividad de esta, que ayudaron a definir la investigación del tema que se trató como se indica a continuación.

4.2 Filtración

Se le conoce como filtración al proceso en el cual diversos sólidos se separan de una cantidad de agua, para esto el agua debe pasar entre un medio poroso, en donde las partículas sólidas de mayor tamaño a los poros son retenidas por el lecho filtrante (Yactayo, 2006, p. 83), durante este proceso se pueden apreciar diversos mecanismos del transporte de los sólidos al estar en contacto con el medio poroso, también nombrado como filtro, tamiz entre otros, estos mecanismos pueden ser:

4.2.1 Mecanismos del transporte de solidos

En la Tabla 1 se establecen los "Mecanismos del transporte de sólidos" en donde se presentan los fenómenos posibles en cuanto al comportamiento de los sólidos suspendidos en el agua al filtrase.

Tabla 1: Mecanismos del transporte de sólidos

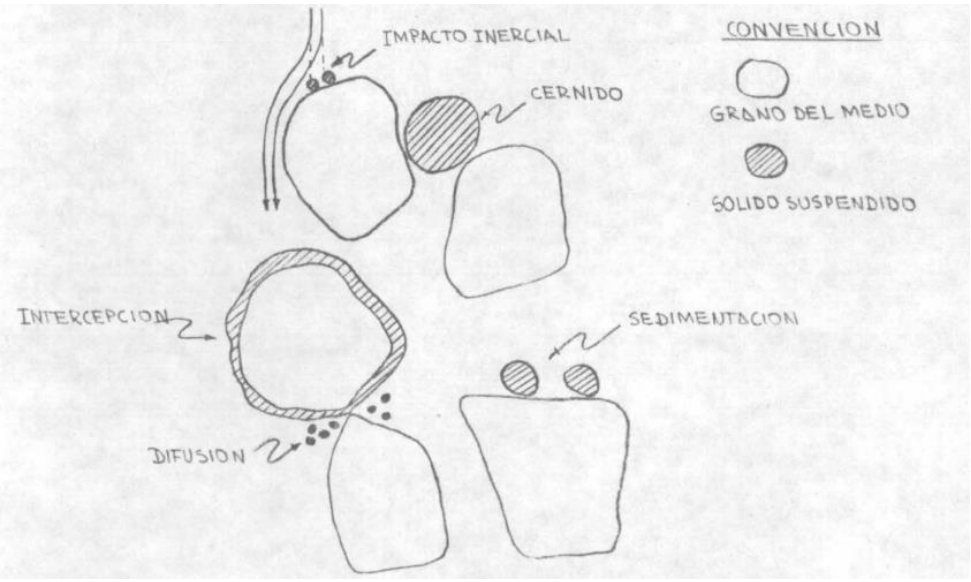
Cernido	Mecanismo en el cual los sólidos de mayor tamaño al tamiz son aprisionados o retenidos.
Intercepción	En algunos casos durante el proceso de filtración se evidencia la presencia de FLOC[1], esto presenta un mecanismo en el cual el FLOC se adhiere al lecho filtrante o granular.
Difusión	Ya que se habla de partículas en un fluido, por siguiente se debe tener en cuenta el movimiento browniano[2] en el cual partículas como FLOC y bacterias tienden a difundirse en algunas zonas concentradas.
Impacto Inercial	Este evento sucede cuando hay un choque entre los granos que contiene el agua filtrándose y el lecho granular, como consecuencia del movimiento del agua, los granos se pegan al medio poroso.

Fuente: (Pérez, 1981, p.42 – 46).

[1] Es un compuesto presente en los sólidos en suspensión, en el cual se aglomeran algunas partículas; este proceso es conocido como floculación el cual puede facilitar la filtración del agua.
[2] Se define como un fenómeno en el cual ciertas partículas suspendidas en el agua adquieren un movimiento aleatorio.

En la ilustración 1 “Mecanismos de Transporte de Sólidos” representa los mecanismos antes mencionados y su comportamiento.

Ilustración 1: Mecanismos de Transporte de Sólidos



Fuente: (Pérez, 1981, p.137).

La filtración es uno de los procesos de potabilización y purificación más importantes para mejorar la calidad del agua, este proceso hace parte de las etapas elementales de algunas plantas hídricas, esto se debe a que anterior a este se involucran procesos como la decantación, desarenador, cámara de mezcla, entre otros, dependiendo de la cantidad de sistemas que posea una planta de potabilización, (Gámez, 2012).

4.2.2 Tipos de Filtración

En cuanto al proceso de filtración existen dos maneras de efectuarlo, estas se conocen como Filtración Lenta y Filtración Rápida, el objetivo de ambas consiste en verter el agua por un medio poroso, para purificarla y a su vez mejorar la calidad de esta, sin embargo los tipos de filtro difieren en muchas de sus características.

4.2.2.1 Filtración Lenta

Cuando nos referimos a la filtración lenta hablamos de una baja carga superficial, es decir un bajo volumen de agua en una determinada cantidad de tiempo, característica que limita el uso de este tipo de filtro para diversos cuerpos hidráulicos, otra de las cualidades en las que difiere a la filtración rápida es en el material de su lecho, esto se debe a que un filtro lento utiliza una arena más fina en comparación del otro filtro.

4.2.2.2 Filtración Rápida

La filtración rápida en contraste de la explicada anteriormente maneja una alta carga superficial, la cual es conveniente para muchos cuerpos de agua con una turbiedad elevada como el agua de río, o en el caso del presente escrito agua de una quebrada, el material de su medio poroso suele ser arena gruesa conveniente para la remoción de ciertas impurezas del agua. Este tipo de filtración puede tener lechos simples, o lechos mixtos, clasificados de la siguiente manera:

1. Filtros Rápidos con medios porosos simples: "Este tipo de filtro se caracteriza por tener un lecho compuesto por un solo material, basados en la mayoría de casos suelen ser de arena ya sea fina o gruesa, o del material conocido como antracita"[3], (Arboleda, 2000).

2. Filtros Rápidos con medios porosos múltiples: Este tipo de filtro combina dos o más tipos de suelo adecuados para el lecho, estos pueden ser de antracita y arena, y granate[4] o ilmenita[5]

La tabla 2 "Comparación entre los distintos tipos de filtro según su medio poroso" presenta las características de los tipos de lechos simples y mixtos:

[3] Medio granular filtrante compuesto de carbono.
[4] Medio granular filtrante compuesto de mineral.
[5] Medio granular filtrante compuesto de mineral.

Tabla 2: Comparación entre los distintos tipos de filtro según su medio poroso

CARACTERISTICAS	FILTRO RAPIDO CON MEDIO POROSO MIXTO	FILTRO RAPIDO CON MEDIO POROSO SIMPLE
Profundidad del medio granular (cm)	Grava: 30 - 40 Antracita: 45 – 60 Arena: 15 - 30	Grava: 30 - 45 Arena: 60 – 75
Pérdida de carga	20cm a 2.70m	30cm a 2.70m
Tiempos entre limpiezas (horas)	12 - 48	24 – 48 – 72
Agua filtrada utilizada durante el lavado (%)	1 – 3	1 - 6
Drenaje	Falsos fondos	Tuberías metálicas, falsos fondos, placas porosas
Velocidad de filtración (cm/s)	0.27 – 0.683	0.101 – 0.203

Fuente: (Arboleda, 2000, p.358).

Como se mostró anteriormente el medio poroso de un filtro rápido influye en todas las características de la filtración las cuales son profundidad, velocidad, drenaje, pérdida de carga y tiempo entre limpiezas. Teniendo en cuenta estos parámetros se determinó el material granular más apropiado para el diseño del filtro rápido el cual es de arena. Por lo tanto es necesario abordar las características y parámetros correspondientes a los filtros de arena.

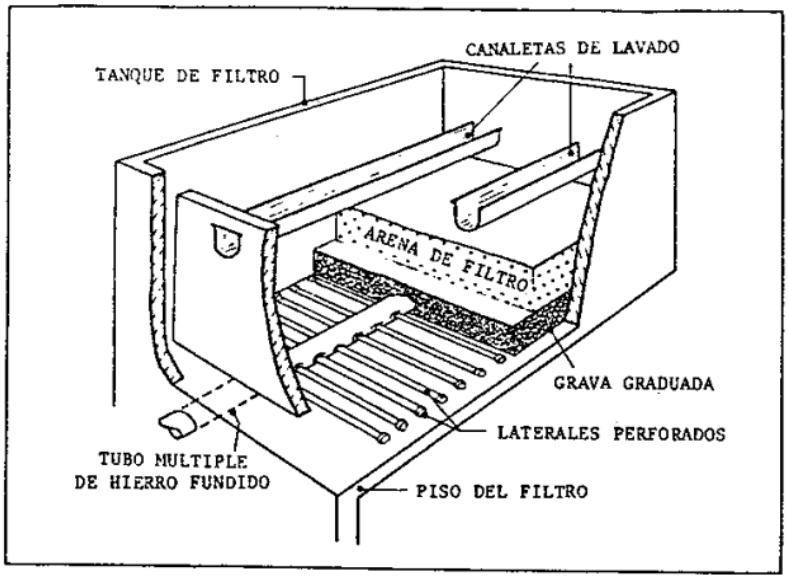
4.2.3 Filtros de Arena

La arena es conocida por ser el medio poroso más empleado en cuanto a la filtración rápida, debido a que produce un efluente de mejor calidad que otros materiales granulares, y además de esto ocasiona una estratificación gracias al movimiento de contracorriente que se adquiere en los lavados, beneficiando la retención de partículas en la parte superior del

lecho granulométrico, esto se debe gracias a que los granos de arena con menor tamaño permanecen en lo alto del medio poroso mientras que los más grandes en lo bajo, (Yactayo, 2006, p. 116).

Debido a que la filtración rápida difiere demasiado de la filtración lenta el tamaño de los granos de la arena empleada suelen ser grandes, por lo tanto es aconsejable el uso de arena gruesa o arena de rio como medio poroso. La ilustración 2 presenta un ejemplo de un filtro rápido de arena, con un medio poroso simple compuesto de arena y grava graduada.

Ilustración 2: Filtro rápido de arena



Fuente: (Sundaresan, Huisman, Azevedo, Lanoix, & Hofkes, 1988, p.230).

Además de la clasificación de filtros según su lecho granular, se deben tener en cuenta los diversos tipos de filtros rápidos destacados por la procedencia de su flujo, los cuales pueden ser rápidos con flujo ascendente y de flujo mixto, (OOCITIES.ORG, 2009). Teniendo en cuenta los parámetros de los posibles tipos de filtro se pudo concretar un diseño previo.

En cuanto al desarrollo del presente trabajo fue necesario realizar estudios que determinaron la calidad del agua de la quebrada Las Quinas.

4.3 Estudios de la Calidad del Agua

Para determinar la calidad del agua de la Quebrada Las Quinas se analizaron las características físicas y microbiológicas de esta fuente, por medio de procedimientos efectuados en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estos estudios por los cuales se determinó las características ya mencionadas del agua se presentan a continuación.

- Sólidos totales: En el desarrollo de este laboratorio las muestras del agua a analizar se deben secar en un horno a una temperatura 103 – 105ºC, esto con el fin de establecer los sólidos disueltos y suspendidos que contiene el agua después de secarse y evaporarse
- Sólidos Disueltos: En este laboratorio se miden específicamente los sólidos que se pueden filtrar a través de un filtro de membrana, estos sólidos suelen ser en su mayoría sales y residuos orgánicos. Este procedimiento implica el uso de un medidor STD (Sólidos Totales Disueltos) con el cual se obtienen valores en unidades de ppm, donde 1ppm equivale a 1mg/l.
- Sólidos Sedimentables: Se refiere a los sólidos sedimentados en una cantidad de agua específica y durante un tiempo establecido. Este tipo de sólidos pueden ser expresados en unidades de volumen (mL/L) o masa (mg/L), (Severiche, Bertel, & Barrios, 2013, p. 52).
- Turbidez: Esta característica de la calidad del agua, mide la cantidad de partículas suspendidas dentro una muestra y se expresa en Unidades Nefelométricas de turbidez (UNT), para que este procedimiento sea factible se debe tener en cuenta la falta de transparencia que hay en el agua. Puesto que entre menos transparencia halla, habrá más turbidez.
- PH: Se le conoce como el grado de acidez que está presente en el agua, esta característica se mide gracias a un sensor encargado de medir el PH o el potencial hidrogeno, de una solución.

- Coliformes Totales y fecales: Los coliformes totales y fecales se refieren a un grupo de bacterias que pueden estar presentes en el agua, las cuales pertenecen a la familia Enterobacteriaceae. Estas bacterias tienen efectos perjudiciales en los seres vivos si son consumidas, por lo tanto es imprescindible cerciorarse de que no están presentes en el agua a consumir o de lo contrario radicarlas, lo cual es posible gracias a la filtración. El método más práctico para comprobar si los coliformes totales y fecales están presentes en el agua se denomina ausencia/presencia en donde por medio de un cultivo se define si la presencia de estas bacterias es positiva o negativa.

Para definir si los resultados obtenidos en los estudios anteriormente mencionados, se encuentran entre los valores admisibles o no, se deben tener en cuenta las normas de la calidad del agua para Colombia, las cuales se reglamentan y expiden en el Decreto 1575 de 2007 por el Ministerio de la Protección Social.

4.4 Normatividad Vigente sobre la Calidad del agua

Los análisis de tipo físico y microbiológico efectuados que determinaron la calidad del agua de la quebrada Las Quinas, se fundamentaron en el Decreto Número 1575 de 2007, ya que para demostrar que la presencia de un filtro rápido de arena en el acueducto de esta quebrada es favorable, se debe tener en cuenta la calidad del agua que se determina por dicho reglamento.

Según el Capítulo III de este decreto "por el cual se establecen las características y criterios de la calidad del agua para el consumo humano" dicta "Las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano, serán determinados por los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en un plazo no mayor a un (1) mes contado a partir de la fecha de publicación del presente decreto. Igualmente se especificaran los criterios organolépticos, físicos y microbiológicos de la calidad del agua potable", (Ministerio, 2007, p.4).

5 Metodología

Durante el transcurso del presente capitulo se especificaron y definieron las actividades efectuadas con las cuales fue posible elaborar este trabajo de grado, el cual por medio del diseño de un filtro rápido de arena, busca solucionar la problemática que tienen los habitantes de la vereda La Rápida, respecto a la calidad del agua que consumen.

Inicialmente fue necesario adquirir información tanto del problema presentado como de la solución planteada, con el fin de fundamentar y argumentar la elección sobre el diseño de un filtro rápido de arena como respuesta a la falencia antes mencionada, premisa que da paso a la primera actividad que se ejecutó.

5.1 Recopilación y Manipulación de la Información

Esta actividad de la metodología se gestionó en las siguientes dos etapas:

- Información sobre los sistemas de purificación del acueducto
- Consulta de información por fuentes bibliográficas

5.1.1 Información sobre los Sistemas de Purificación del Acueducto

Frente al inconveniente principal de la calidad del agua, fue necesario conocer cada uno de los procesos de tratamiento del acueducto de Las Quinas a los cuales se somete el agua de esta fuente, gracias a una visita realizada el día 11 de noviembre de 2015 a este acueducto, localizado en la vereda La Rápida en el municipio de San Antonio del Tequendama, fue factible determinar los procesos existentes que contribuían con la purificación y distribución del agua, dichos procesos o sistemas se presentan a continuación.

El primer proceso del acueducto que trata el agua de esta quebrada a partir de su punto de origen se muestra en la imagen 1, y se refiere a la bocatoma de esta fuente de agua, localizada posteriormente a la cuenca de recepción de la quebrada.

Imagen 1: Bocatoma de la Quebrada Las Quinas



Fuente: Propia.

El siguiente proceso involucrado en el acueducto, es un sistema de purificación para el agua de Las Quinas, el cual hace referencia a un desarenador en la imagen 2.

Imagen 2: Desarenador de la Quebrada Las Quinas



Fuente: Propia.

Finalmente el agua de esta quebrada llega a una caja de distribución la cual se enseña en la imagen 3, con el objetivo de remitirla a cada uno de los usuarios que aprovechan este recurso.

Imagen 3: Salida de la caja de distribución de la Quebrada Las Quinas



Fuente: Propia.

A partir de estos datos conseguidos acerca de la composición del acueducto de la quebrada Las Quinas, fue viable determinar como solución al inconveniente de la calidad del agua, un sistema de purificación que no estuviera presente en el tratamiento de esta fuente y además presentara facilidad respecto a su integración en el acueducto.

Considerando lo anterior se planteó como mejora para la calidad del agua, un sistema de purificación por medio de la filtración, ya que asume como función remover y retener las partículas suspendidas en el agua que puedan ser perjudiciales para los consumidores. Así finalizó la etapa inicial de esta actividad y se prosiguió con la segunda y última.

5.1.2 Consulta de información por fuentes bibliográficas

Una vez definido el sistema de purificación a diseñar, se procedió a consultar los tipos de filtración existentes, sus características, parámetros, y modelos. La definición de este sistema se determinó teniendo en cuenta 3 criterios fundamentales que hicieron posible su diseño, los cuales se refieren a la velocidad de filtración, tipo del medio poroso, el sentido del flujo y carga sobre su lecho granular.

5.1.2.1 Velocidad de filtración

Para definir el primer criterio fue necesario consultar fuentes acerca de la filtración lenta y la filtración rápida, (Sundaresan, Huisman, Azevedo, Lanoix, & Hofkes, 1988, p.229), que como bien se explicó en el marco referencial son los tipos de filtración ya existentes que dependen de la carga superficial, rata o la velocidad de filtración. En cuanto a la elección de cuál de estas clases de filtrado emplear para el acueducto de la vereda La Rápida, se determinó que la filtración rápida es ideal para un cuerpo hidráulico que posee una turbiedad elevada, como es el caso de las quebradas o ríos, por lo tanto se seleccionó como el tipo de filtración adecuado para el diseño propuesto, estableciendo así, el primer criterio de esta etapa el cual se refiere a un "filtro rápido".

5.2.1.2 Tipo del medio poroso

El medio poroso o medio filtrante es una de las características más importantes de la filtración, ya que de esta depende la efectividad de la retención y remoción de los agentes contaminantes que puedan estar presentes en el agua. Las fuentes consultadas (Arboleda, 1891; Yactayo, 2005), para definir qué tipo de medio poroso se escogería para el diseño del filtro rápido, especifican dos tipos de medios filtrantes, filtros de lecho simple y filtros de lecho compuesto.

Como se indicó en el marco referencial estos tipos de filtros se diferencian por la cantidad de materiales granulares que componen el medio poroso. El filtro de lecho simple convencional suele ser de un solo material, mientras que el lecho compuesto involucra a más de uno. El material del lecho granular simple comúnmente resulta ser de arena, esto es debido a que la arena

es el efluente de mejor calidad conocido gracias a el tamaño de sus granos, y a su estratificación provechosa para el lavado del filtro, “granos finos tienden a retener mayor cantidad de sólidos y evitar la penetración del floc” (Arboleda, 1981, p.361).

Además de lo anteriormente mencionado, el costo en lo que respecta a la construcción de un filtro de lecho simple suele ser más económico que un filtro de lecho compuesto. Debido a las razones antes presentadas se escogió el lecho simple de arena como el medio poroso más adecuado para el diseño Del filtro rápido.

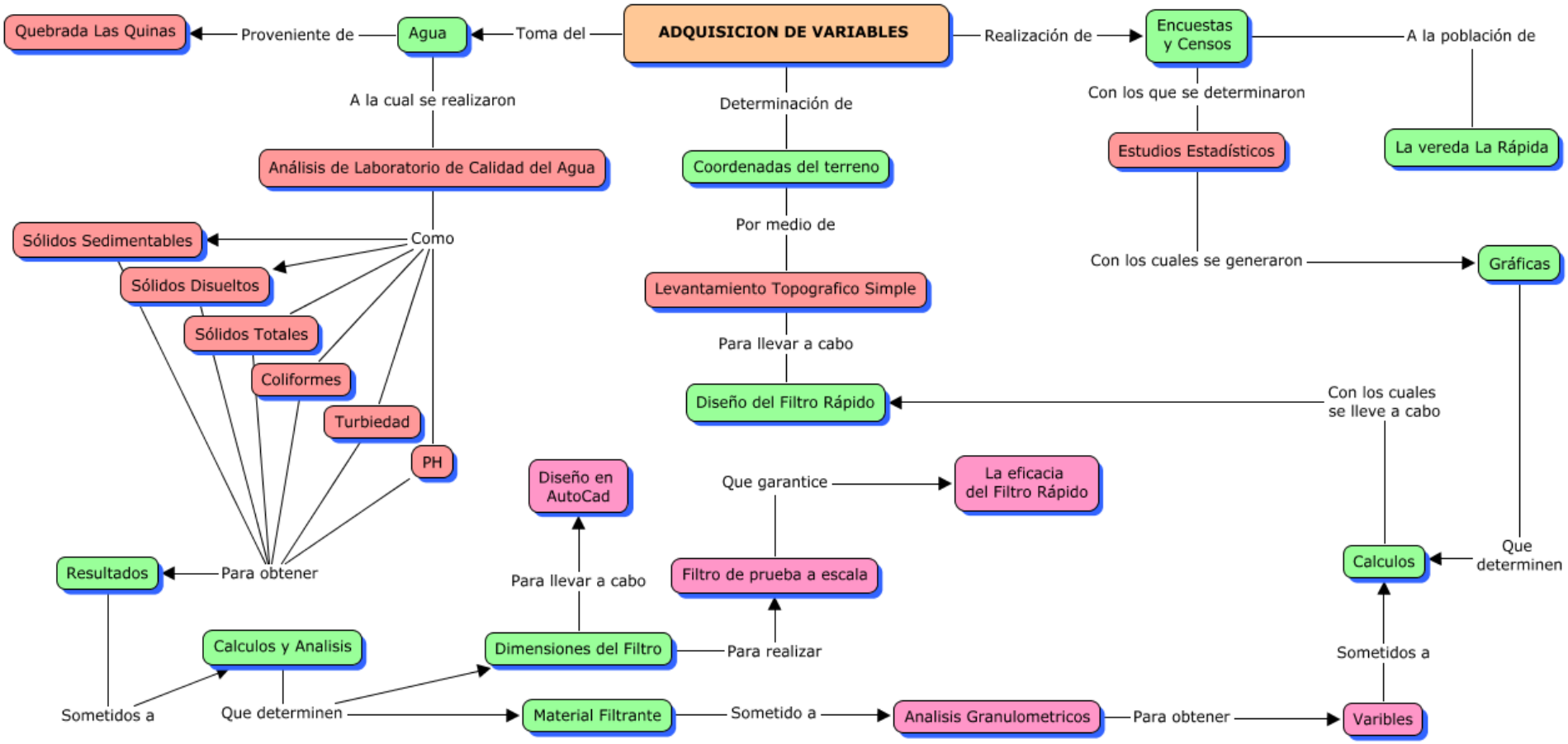
5.2.1.3 Sentido del flujo y carga sobre su lecho granular

Este criterio de la filtración involucra el tamaño de una planta de tratamiento o acueducto que trata el agua, por lo tanto es necesario tener en cuenta que el acueducto de la quebrada Las Quinas cuenta solo con 3 sistemas de purificación y distribución del agua, los cuales son una bocatoma, un desarenador y una caja de distribución. Además de esto el agua de esta fuente abastece a una cantidad de 190 personas en total, por lo tanto es factible referirse a una planta de tratamiento o acueducto pequeño. Para este tipo de acueductos con las condiciones ya mencionadas, es recomendable utilizar un flujo descendente por gravedad, (Severiche, Bertel, & Barrios, 2013, p. 233).

La filtración rápida que involucra un flujo con sentido descendente por gravedad, resulta ser el tipo de filtro más empleado en las plantas de tratamiento, debido al coste económico que representa, (Gámez, 2012).

Gracias a las consultas de información por medio de las fuentes bibliográficas ya mencionadas, se estableció el tipo de filtro a diseñar para mejorar la calidad del agua del acueducto de la quebrada Las Quinas, así mismo con el sistema a diseñar determinado, se dio inicio a las actividades prácticas que hicieron posible la metodología, estos procedimientos se muestran en la Ilustración 3, correspondiente al mapa conceptual del desarrollo de las actividades prácticas y procedimientos realizados en la metodología.

Ilustración 3: Mapa conceptual de desarrollo con las actividades prácticas y procedimientos realizados en la metodología



Fuente: Propia

5.2 Toma del agua

Originalmente se requirieron muestras del agua de la quebrada Las Quinas para someterlas a varios análisis de tipos físicos y químicos como son sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, turbiedad, PH y coliformes totales y fecales, con la intención de determinar la calidad de esta fuente hídrica.

Se tomó agua de la Quebrada Las Quinas de la vereda La Rápida, después de que fuera tratada por los sistemas de purificación ya existentes en el acueducto de la quebrada, es decir una bocatoma y desarenador, para esto fue necesario adquirir seis envases de material plástico oscuro, herméticamente cerrados con capacidad máxima de 1.5 litros.

Para obtener un muestreo compuesto de esta fuente, se tomó un total de 6 muestras del agua de la Quebrada Las Quinas en distintos días y horas, las cuales se especifican en la tabla 3, que contiene los datos sobre la toma de las muestras del agua.

Tabla 3: Información sobre la toma de muestras

Muestra	Fecha			Hora	Volumen (litros)
	Día	Mes	Año		
1	21	Febrero	2016	09:25	1.5
2	24	Febrero	2016	12:17	1.5
3	28	Febrero	2016	13:01	1.5
4	01	Marzo	2016	10:31	1.5
5	06	Marzo	2016	09:56	1.5
6	06	Marzo	2016	14:44	1.5

Fuente: Propia

A continuación el agua tomada se almacenó en seis botellas limpias de 1.5 litros cada una, color ámbar, las cuales cumplían los requisitos del envase, estos requisitos se plantearon debido a que el agua fue transportada a Bogotá. Posteriormente fue almacenada durante 24 horas antes de realizarle estudios, durante el transcurso de estas actividades, el agua no debía ser expuesta a

demasiada luz o a temperaturas altas para que conservara sus características originales, hasta el momento de realizar los análisis correspondientes en el Laboratorio de Calidad de Aguas. (IDEAM, 2007, p. 7)

5.3 Prueba del Filtro a escala

Debido a que era necesario corroborar que el uso adecuado de un filtro rápido de arena sería conveniente para la vereda La Rápida, se realizó un filtro a escala por el cual se hizo pasar la mitad del muestreo tomado al agua de la quebrada, es decir 4.5 litros de los 9 litros que se habían obtenido en total.

El material del filtro de prueba fue de vidrio, esto con el fin de que se visualizara fácilmente la retención de las partículas suspendidas en las muestras del agua, a partir de seleccionar el material se determinaron las dimensiones apropiadas para el filtro de prueba, el cual poseía una forma cilíndrica con una abertura en su extremo superior.

Dimensiones:

Altura = 50cm

Radio = 5cm

A partir de establecer las dimensiones se adquirió el recipiente anteriormente descrito. Para que fuera posible emplearlo como un filtro de prueba, fue necesario realizarle una perforación al extremo inferior de 1cm de radio con el objetivo de implementar una salida para el agua filtrada. Posteriormente se procedió a llenar el recipiente con los suelos ya establecidos es decir arena gruesa y gravilla, los cuales se sometieron a estudios granulométricos que se evidencian en el capítulo 7 página 61, en la imagen 4 se muestra el filtro de prueba elaborado con los materiales granulares ya especificados, teniendo en cuenta que la proporción de la arena debía superar a la de la gravilla, por ser el material principal del filtro a diseñar.

Imagen 4: Filtro de arena rápida



Fuente: Propia

Posteriormente fue factible verter los 4.5 litros de las muestras del agua por el filtro de prueba, para luego realizarle los estudios de sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, turbiedad, PH y coliformes totales, en el laboratorio de Calidad de Aguas, y así verificar que tan benéfico y efectivo era el proceso de filtración para el agua de la Quebrada Las Quinas.

5.4 Estudios y análisis de laboratorios para la calidad del agua

Los estudios de la calidad del agua de la Quebrada las Quinas, fueron efectuados en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, para lo cual se contó con la aprobación y visto bueno de la coordinación de los laboratorios, administrada por el ingeniero Miguel Ángel Piraguata Aguilar.

Durante la realización del estudio de calidad de la muestra del agua en el laboratorio, se determinaron coliformes totales, sólidos totales, sólidos sedimentables, turbidez, y PH mediante diversos análisis de tipo químico y físico.

Para determinar si los resultados fueron admisibles o no fue necesario consultar las normas de la calidad del agua para Colombia las cuales establecen:

> "Las características y criterios de la calidad del agua para el consumo humano" dicta "Las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, así como los criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano, serán determinados por los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en un plazo no mayor a un (1) mes contado a partir de la fecha de publicación del presente decreto. Igualmente se especificaran los criterios organolépticos, físicos y microbiológicos de la calidad del agua potable", (Ministerio, 2007, p.4).

Se especificaron las condiciones y los valores admisibles que se obtuvieran en el laboratorio de Calidad de Aguas, según esto se realizaron los siguientes procedimientos.

5.4.1 Determinación de sólidos totales

Procedimiento:

Inicialmente fue necesario utilizar la vestimenta correspondiente para el uso del laboratorio, la cual se conformaba por guantes de látex, bata blanca que cubriera los brazos y tapabocas. A continuación se procedió a verificar que las herramientas necesarias para el estudio, estuvieran disponibles. Una de estas herramientas fue un filtro de membrana, sobre el cual se hizo pasar el agua de la muestra con el fin de que retuviera partículas sólidas, consiguiente a esto el filtro se colocó en un crisol, el cual se había pesado anteriormente en una balanza analítica al igual que el filtro de membrana. A continuación el recipiente cuidadosamente se colocó en un horno de secado a 103ºC, y después de dos horas se extrajo el crisol y la muestra evaporada, para finalizar el primer estudio se requirió de la balanza analítica, donde se hizo una segunda medición del peso del filtro, para comparar los pesos y obtener el resultado concluyente, (CEPIS/OPS, 2007).

5.4.2 Determinación de sólidos disueltos

Procedimiento:

Para este estudio se requirió de un medidor TDS destilado el cual se muestra en la imagen 5, el medidor de esta herramienta se sumergió en la muestra del agua proveniente de la Quebrada Las Quinas contenida dentro de un recipiente de vidrio pequeño, después de unos segundos sumergido el TDS, se obtuvieron los resultados.

Imagen 5: Medidor TDS



Fuente: Propia

5.4.3 Determinación de sólidos sedimentables

Procedimiento:

Durante el desarrollo del estudio de sólidos sedimentables, se vertió un litro del agua de la muestra sobre un Cono Imhoff el cual se presenta en la imagen 6, el Cono se dejó reposar durante una hora, no obstante la muestra dentro del cono debía revolverse con un agitador de laboratorio cada 30 minutos, después de 45 minutos transcurridos, al finalizar la hora se registraron los datos.

Imagen 6: Cono Imhoff



Fuente: Propia

5.4.4 Determinación de turbidez

Procedimiento:

Para determinar la turbidez fue preciso contar con un nefelómetro el cual se muestra en la imagen 7, herramienta que mide las partículas suspendidas en la muestra del agua, para este procedimiento fue necesario llenar con la muestra un recipiente pequeño que luego se cerró herméticamente. A continuación, el recipiente se colocó en el foto-detector del nefelómetro y después de unos pocos segundos se obtuvieron los valores.

Imagen 7: Nefelómetro



Fuente: Propia

5.4.5 Determinación de PH

Procedimiento:

Durante el desarrollo del presente estudio para determinar el PH o grado de acidez y basicidad, fue necesario el uso de un potenciómetro o medidor de PH previamente destilado, el cual se enseña en la imagen 8, inicialmente se vertió el agua de la muestra en un recipiente de vidrio pequeño de boca ancha, luego se sumergió el potenciómetro en el recipiente y después de unos segundos mostró los valores en su pantalla.

Imagen 8: Potenciómetro



Fuente: Propia

5.4.6 Coliformes Totales y Fecales

Procedimiento:

El estudio de Coliformes Totales se empleó por medio del método presencia/ausencia para determinar el tipo de materia nociva para la población de la vereda La Rápida, para esto fue necesario contar con una pastilla de coliformes, otorgada por el laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, dichos coliformes se aplicaron a la muestra de agua vertida en un frasco “winkler” que después se cerró herméticamente. Se tomó una primera fotografía de la muestra para compararla con una segunda después del estudio.

A partir de ese momento se dejó reposar durante más de 24 horas, para posteriormente ultimar el análisis.

Así concluyeron las actividades elaboradas en el laboratorio de Calidad de Aguas.

5.5 Cálculos, Dimensiones y Parámetros para el Diseño del Filtro Rápido

Para proceder a la elaboración del diseño del filtro rápido fue necesario determinar parámetros iniciales, como el caudal de la quebrada Las Quinas, y la velocidad de esta.

Según la Resolución No. 2658 del 14 de noviembre de 2007, y el Auto Opte del 23 de enero de 2014, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, y la Oficina Provincial del Tequendama estableció:

> "La concesión de aguas superficiales en un caudal de 1.00 l/s para la fuente de dominio público Quebrada Las Quinas, para la comunidad adscrita en esta asociación, en jurisdicción del municipio de San Antonio del Tequendama – Cundinamarca, con destino a satisfacer las necesidades de uso doméstico (0.88 l/s) y pecuario (0.12 l/s)", (AutoOpte0071, 2014, pág. 1).

Por lo tanto el caudal para la fuente de dominio público denominada Quebrada La Quinas, es de 1.00 l/s, y la velocidad de esta se determinó conforme a las unidades de filtración para el diseño de filtros veredales fundamentado en el texto "Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua" (Arboleda, 1981, p. 331) en donde se establece que la velocidad o rata normal para el diseño de los filtros se encuentra entre los 120 a 150 m/m^2/día. Consecuentemente la velocidad seleccionada para el filtro veredal en el acueducto de la Quebrada Las Quinas fue de 120 metros/día.

Ya con los parámetros iniciales definidos, los cálculos para hallar las dimensiones del filtro rápido de arena se efectuaron de la siguiente manera:

Variables conocidas:

V = 120 m/día

Q = 1.00 l/s

Dónde:

V = Velocidad

Q = Caudal

Para trabajar con unidades iguales el caudal se expresó de la siguiente manera

$Q = 86.4\ m^3/día$

Para hallar las dimensiones fue necesario calcular el área despejándola de la siguiente fórmula:

Q = V * A

$$A = \frac{Q}{V}$$

Remplazando:

$$A = \frac{86.4 m^3/día}{120 m/día}$$

Las unidades se cancelaron, y se expresaron como m^2/día y se efectuó la operación dando como resultado

$A = 0.72\ m^2$

Debido a que el diseño en planta del filtro rápido maneja una forma cuadrada, las medidas de sus lados son iguales por lo tanto

$L = \sqrt{0.72 m^2}$

Dónde:

L = Lado

L = 0.8485m

Finalmente se determinó que las dimensiones del área del filtro fueron

A = 0.8485m x 0.8485m

Para definir la altura del filtro se consultó el libro "Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua" (Arboleda, Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua, 1981), y se estableció que:

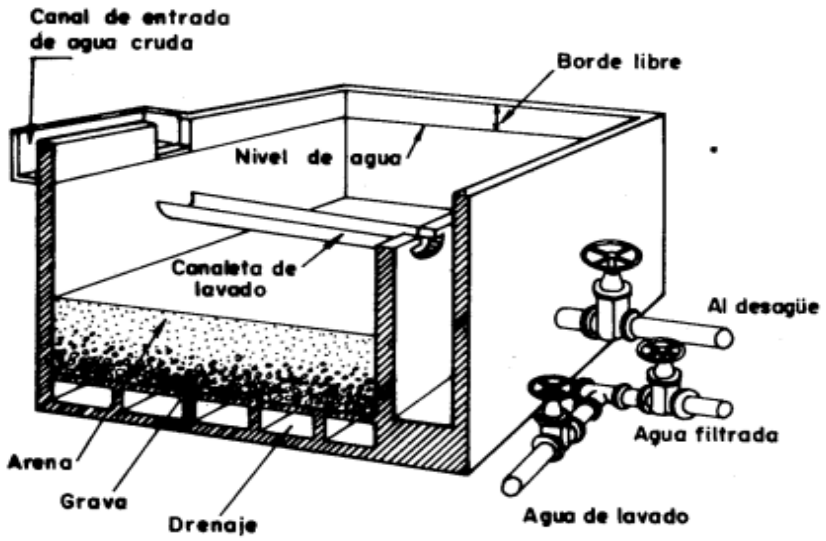
H = 70 cm = 0.70 m

En conclusión las dimensiones definitivas para el filtro fueron

Dimensiones = 0.8485m x 0.8485m x 0.70m

Teniendo en cuenta las dimensiones previamente establecidas se procedió a realizar el diseño propuesto, tomando como referencia el filtro rápido de arena de la fuente bibliográfica, (Arboleda, 1981, p. 356). Dicho filtro se caracteriza por poseer un lecho granular simple, y un sistema de filtración por gravedad con flujo descendente, el cual se muestra en la ilustración 4 "Filtro de referencia."

Ilustración 4: Filtro de referencia



Fuente: (Arboleda, 1981, p.356).

La tabla 4 “Parámetros según el medio poroso” presenta los parámetros y características del filtro propuesto se definieron según el medio poroso, y el tipo de flujo los cuales se mencionaron previamente.

Tabla 4: Parámetros según el medio poroso

PARAMETROS	FILTRO RAPIDO CON MEDIO POROSO SIMPLE
Profundidad del medio granular (cm)	Grava: 30 - 45 Arena: 60 – 75
Pérdida de carga	30cm a 2.70m
Tiempos entre limpiezas (horas)	24 – 48 – 72
Agua filtrada utilizada durante el lavado (%)	1 - 6
Drenaje	Tuberías metálicas, falsos fondos, placas porosas
Velocidad de filtración (cm/seg)	0.101 – 0.203

Fuente: (Arboleda, 1981, p. 358)

A partir de este modelo se generó el diseño propuesto para purificar el agua de la Quebrada Las Quinas en el programa AutoCAD Civil 2015.

5.6 Encuestas e Información Censal

Para la elaboración de un filtro de arena en la vereda La Rápida, fue necesario conocer la información suministrada de los habitantes de la población, para que se determinaran y evaluaran parámetros como el uso del agua, la cantidad de usuarios del acueducto y la opinión de los consumidores respecto a esta. Así, a través de la encuesta encontrada en el anexo 4, la población de consumidores calificó todas las variables ya mencionadas.

5.7 Levantamiento del terreno

El levantamiento topográfico realizado en la vereda La Rápida, fue una de las bases del presente trabajo de grado, ya que a partir de esta actividad fue factible elaborar los planos correspondientes a la planimetría y altimetría de la zona. Por medio de esta actividad se realizaron las mediciones respectivas para definir en qué territorio situar el sistema de filtración diseñado. A continuación se describen las actividades efectuadas durante el levantamiento topográfico.

5.7.1 Determinación del terreno a levantar

Teniendo en cuenta las dimensiones obtenidas para filtro rápido de arena, se realizó un recorrido por la zona del acueducto con el objetivo de determinar el espacio adecuado, que cumpliera con las condiciones aptas para el diseño, estas condiciones fueron:

- El terreno donde se situó el diseño del filtro debía ser lo suficientemente grande para que abarcara el tamaño del filtro veredal ya dimensionado, en su totalidad.
- La ubicación del filtro debía acomodarse previamente a la caja de distribución y posteriormente al desarenador ya existente en el acueducto de Las Quinas. Esto se argumenta debido a que el agua debe filtrarse antes de distribuirse a la población por medio de la caja de distribución, y así mismo, el filtro debe remover y retener los sólidos contaminantes, que los anteriores sistemas de purificación puedan dejar pasar.
- El terreno escogido para realizar el levantamiento topográfico simple debía presentar diferencias de nivel relativamente bajas, con el objetivo de facilitar la ubicación del filtro veredal, debido a que para lograr su implementación adecuada se debía tener en cuenta una ubicación paralela con respecto al terreno.
- Igualmente el sitio para la ubicación del diseño debía estar despejado, en cuanto a las dimensiones ya planteadas, no obstante durante el desarrollo del levantamiento topográfico simple se tomó todos los detalles presentes en la zona.

A partir de estas especificaciones, se estableció el terreno apropiado el cual se muestra en la imagen 9, que además muestra el desarrollo del levantamiento topográfico efectuado.

Imagen 9: Fotografía de campo



Fuente: Propia

5.7.2 Materialización y configuración del equipo

Inicialmente se materializó el punto en el cual se armaría la estación, para conocer las coordenadas y la cota del punto de armado se empleó un navegador de mano GPS marca Garmin con una precisión aproximada de 8m, las coordenadas topográficas y la cota de este punto Delta1 son las siguientes:

Norte = 996884m; Este = 970379m; Cota = 2141msnm

El GPS empleado se presenta en la siguiente ilustración:

Ilustración 5: Navegador de mano GPS marca Garmin



Fuente: http://www.parentesis.com/resenas/gps/GPS_Garmin_Exploracion_eTrex_20

A continuación se materializó el punto en el cual se armaría la Estación Total Nikon 322, este paso se efectuó fijando una estaca en el Delta1, y clavándole a esta una puntilla. Posteriormente se colocó la estación total sobre el punto materializado, para luego armar el trípode y nivelar la estación.

Se ingresaron los parámetros necesarios en la estación topográfica tales como presión atmosférica, altitud, y temperatura, finalmente se configuro el equipo registrando la altura instrumental que se había medido previamente con el flexo.

5.7.3 Levantamiento de la superficie

La obtención de datos del terreno se realizó por medio de un levantamiento topográfico simple, por el método de radiación simple en donde se tomaron diversos puntos de la zona con sus respectivas coordenadas y cotas, en total se tomaron un total de 42 puntos incluyendo el Delta 2 donde se encero el equipo para iniciar la radiación.

Ya que la zona del levantamiento presentaba un ecosistema boscoso como se demuestra en la imagen 10, era necesario tomar los detalles de los árboles o cuerpos destacados que estuvieran en la zona del levantamiento, además de utilizar los equipos ya mencionados se hizo uso de un bastón topográfico Nikon, y un prisma topográfico Nikon.

Imagen 10: Fotografía de campo



Fuente: Propia

5.7.4 Descarga de datos

Para concluir el trabajo de campo se descargaron los datos levantados con el software SierraSoft DL-02.

5.8 Estudios y análisis para los laboratorios de suelos

Durante el desarrollo del presente trabajo se definió que los suelos usados para los lechos granulométricos del diseño del filtro, fueron de arena de río y gravilla, de los cuales se requirió un mínimo de 2000gr y 5000gr respectivamente. Estos materiales se compraron y a continuación fueron transportados al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en donde se colocaron en un horno de secado a una temperatura de 110ºC por 24 horas, con el fin de garantizar que el material estuviera completamente seco.

5.8.1 Finos y pérdidas

Con los materiales secos fue necesario determinar la cantidad de finos y pérdidas que cada uno de los suelos poseía. Inicialmente se pesó la arena de río la cual se presenta en la imagen 11, para lo cual se colocó sobre una bandeja de acero con una masa conocida de 831.7g, a continuación se registró la masa total de la bandeja y el material (3018.7g), por lo tanto se calculó que la masa de la arena de rio era 2187g.

Imagen 11: Arena de río antes de secarse



Fuente: Propia

Luego se procedió a lavar la arena de río sobre los tamices No 100 y No 200, los finos quedaron retenidos sobre el tamiz No 200 y el resto del material sobre el tamiz No 100, en seguida se colocaron en bandejas distintas y se secaron durante 24 horas a una temperatura de 110ºC. Al día siguiente se pesó el material seco y se encontró que la arena de rio obtenida tenía un total de finos de 256.31g y un total de pérdidas de 63.59g. Para hallar los valores de los finos y pérdidas en la gravilla que se presenta a continuación en la imagen 12, se repitió el proceso anterior sin embargo se usaron los tamices No 40 y No 200 para el lavado, como resultados se obtuvieron 66.53g de finos, y 36.87g de pérdidas.

Imagen 12: Gravilla después de secarse



Fuente: Propia

5.8.2 Granulometría

Inicialmente es necesario definir la granulometría o el análisis granulométrico ya que juega un papel fundamental en la filtración debido a que a partir de la retención de los lecho granulares depende la efectividad del filtro, según el I.N.V. E – 123 – 07 por el cual se establece que “el análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo”, (INVIAS, 2007, p.1). Es decir la clasificación de un tipo de suelo por medio de la cantidad de este material que pase por un tamiz determinado, expresada en porcentaje.

Para la clasificación granulométrica o granulometría de cada material se requirieron de los siguientes tamices:

Arena de río: ½, 3/8, 4, 8, 16, 30, 50, 100.

Gravilla: ¾, ½, 3/8, 4, 10, 40.

Imagen 13: Tamiz No. 4



Fuente: Propia

Los tamices fueron organizados en una columna de menor a mayor como se muestra en la imagen 14, y se agregó a la parte superior de los tamices la arena de río y la gravilla respectivamente; después se tapó la parte superior de la columna y esta se sometió a movimientos fuertes de vibración y rotación. Luego de unos minutos se desarmó la columna y se tomó cada uno de los pesos del material retenido por los tamices y el fondo. De esta manera se obtuvieron los resultados.

Imagen 14: Columna de tamices



Fuente: Propia

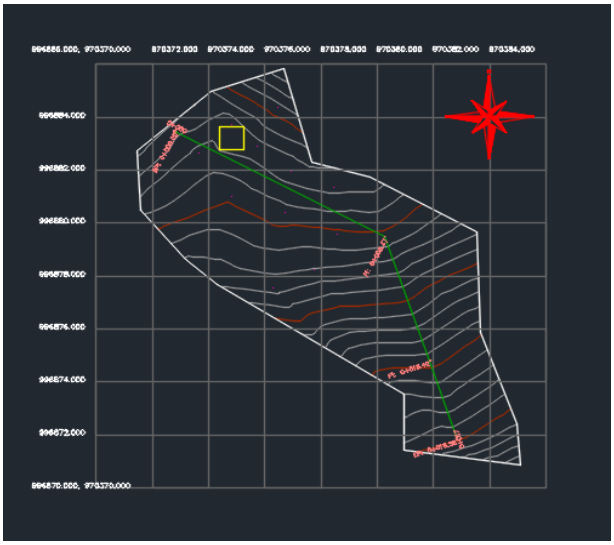
5.9 Modelación y Planos Topográficos del Terreno Medido

Mediante el levantamiento topográfico simple, efectuado en la vereda La Rápida en el municipio de San Antonio del Tequendama, se obtuvieron las mediciones del terreno para establecer el área en la cual se propuso situar el diseño del filtro rápido de arena, gracias a esta medidas se adquirieron satisfactoriamente las coordenadas y alturas de todos los puntos de esta región.

A partir de estos datos geográficos, se generó una nube de puntos en el programa AutoCAD Civil 2015 Metric, y con base a ella se realizó una superficie del terreno que contenía las curvas principales y las curvas secundarias. Con estos parámetros se evidenció que la diferencia de nivel o la pendiente del terreno era de 8.6%, lo cual resultó favorable ya que el área de la obra tenía una variación de cotas inferior a 10 cm.

Luego se realizó un perfil longitudinal, para esto se trazó un alineamiento que atravesara el medio de toda la superficie ya elaborada, con la opción “Create Surface Profile” del Software AutoCAD Civil se indicaron todos los parámetros y las preferencias para llevar a cabo la representación altimétrica. Dentro del plano No. 2 correspondiente a los anexos del presente trabajo, se incluyeron el plano topográfico en planta, el perfil efectuado junto a una vista en tres dimensiones de la superficie del terreno con el objetivo de apreciar la forma y magnitud del territorio, a continuación se presenta la planta de la superficie en la ilustración 6.

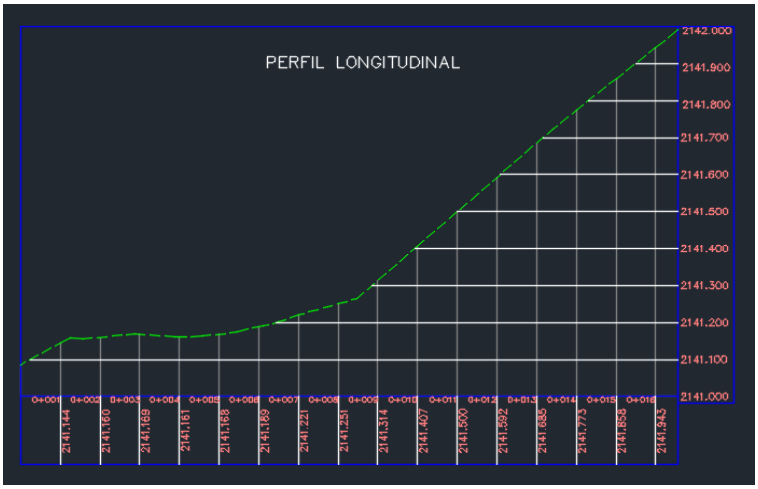
Ilustración 6: Planta de la superficie



Fuente: Propia

Para el perfil longitudinal del anexo 8, fue necesario pasar una poli línea sobre la superficie, y al generar el perfil se obtuvo la siguiente ilustración 7.

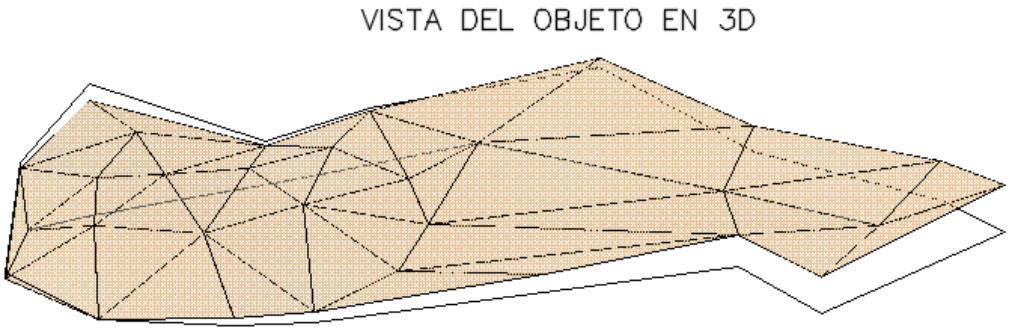
Ilustración 7: Perfil longitudinal



Fuente: Propia

Finalmente se generó una superficie por triangulación como se presenta en la ilustración 8.

Ilustración 8: Vista de la superficie en 3D



Fuente: Propia

Finalmente se presentó toda la información geográfica escalada en el plano No. 2 de tamaño ISO B2, anexado al presente documento.

6 Resultados

Al finalizar la metodología se organizó toda la información obtenida según la actividad o el procedimiento llevado a cabo, los resultados se muestran a continuación.

6.1 Resultados obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Aguas

Al concluir el laboratorio de Calidad de Aguas se establecieron los siguientes valores para cada uno de los estudios realizados a las muestras de agua

6.1.1 Sólidos Sedimentables

En cuanto a este laboratorio se registraron las horas de inicio y fin para el agua que se vertió en el Cono Imhoff, luego se obtuvo el valor de sólidos sedimentables en unidades de centímetros, los resultados de este análisis se enseñan en la tabla 5 “Resultados de sólidos sedimentables”.

Tabla 5: Resultados de sólidos sedimentables

Agua tratada			
Muestra	Hora de inicio	Hora de fin	Resultados
1	12:50	13:30	0.059cm
2	12:57	13:37	0.010cm
3	14:28	15:08	0.000cm
Agua sin filtrar			
Muestra	Hora de inicio	Hora de fin	Resultados
1	13:00	13:40	0.890cm
2	13:03	13:43	1.460cm
3	13:08	13:48	1.430cm

Fuente: Propia

6.1.2 Turbiedad

Después de realizar la metodología correspondiente al presente laboratorio, los valores que se adquirieron en el medidor de turbiedad fueron los siguientes en unidades de NTU (Unidad de Medición para la Turbidez).

Tabla 6: Resultados de turbiedad

Muestra	Resultados	
	Agua tratada	Agua sin filtrar
1	1.753 NTU	34.36 NTU
2	1.829 NTU	34.00 NTU
3	1.897 NTU	41.46 NTU

Fuente: Propia

6.1.3 PH

La medida de acidez o PH de las muestras del agua, como se mencionó anteriormente se calculó gracias al potenciómetro el cual dio los siguientes resultados.

Tabla 7: Resultados de PH

Muestra	Resultados	
	Agua tratada	Agua sin filtrar
1	6.85 a 17.9ºC	7.37 a 17.9ºC
2	6.77 a 17.9ºC	7.35 a 17.9ºC
3	6.90 a 17.9ºC	7.24 a 17.9ºC

Fuente: Propia

6.1.4 Sólidos Disueltos

Por medio del medidor TDS (Sólidos totales disueltos) se obtuvieron los siguientes valores los cuales se presentan en unidades de ppm, donde 1 ppm equivale 1 mg/l.

Tabla 8: Resultados de sólidos disueltos

Muestra	Resultados	
	Agua tratada	Agua sin filtrar
1	89.7	79.9
2	86.6	79.5
3	85.3	78.4

Fuente: Propia

6.1.5 Sólidos Totales

Los resultados presentados a continuación se refieren a la resta, entre los pesos del filtro de membrana y los pesos del filtro de membrana con las partículas que este retuvo al colar el agua de las muestras sobre él.

Tabla 9: Resultados de sólidos totales

Muestra	Resultados	
	Agua tratada	Agua sin filtrar
1	0.0014g	0.0431g
2	0.0010g	0.0294g
3	0.0012g	0.0710g

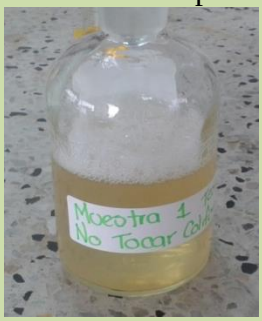
Fuente: Propia

6.1.6 Coliformes Totales y Fecales

Las imágenes 15 – 26 que corresponden a las muestras analizadas del agua evidencian los resultados obtenidos en el método de ausencia/presencia para determinar la existencia de Coliformes Totales y Fecales en el agua, según esta técnica la coloración azul del agua a partir de 24 horas de incubación de Coliformes representa la presencia de estas bacterias, y la permanencia del color original del agua representa la ausencia de estas.

- ✓ **Agua Tratada**

Muestra 1 = Ausencia

Imagen 15: Muestra anterior 1  **Fuente**: Propia	Muestra anterior al método de Ausencia/Presencia.
Imagen 16: Muestra posterior 1  **Fuente:** Propia	Muestra posterior al método de Ausencia/Presencia.
Resultado	Ausencia

Muestra 2 = Ausencia

Imagen 17: Muestra anterior 2  **Fuente:** Propia	Muestra anterior al método de Ausencia/Presencia.
Imagen 18: Muestra posterior 2  **Fuente:** Propia	Muestra posterior al método de Ausencia/Presencia.
Resultado	Ausencia

Muestra 3 = Ausencia

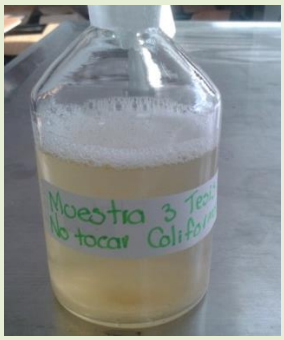
Imagen 19: Muestra anterior 3  **Fuente:** Propia	Muestra anterior al método de Ausencia/Presencia.

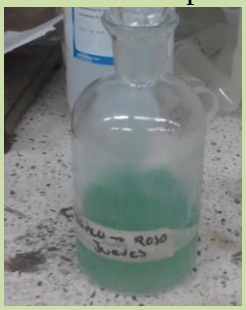
Imagen 20: Muestra posterior 3  **Fuente:** Propia	Muestra posterior al método de Ausencia/Presencia.
Resultado	Ausencia

- ✓ **Agua Cruda**

Muestra 1 = Presencia

Imagen 21: Muestra anterior 1  **Fuente**: Propia	Muestra anterior al método de Ausencia/Presencia.
Imagen 22: Muestra Posterior 1  **Fuente:** Propia	Muestra posterior al método de Ausencia/Presencia.
Resultado	Presencia

Muestra 2 = Presencia

Imagen 23: Muestra anterior 2  **Fuente:** Propia	Muestra anterior al método de Ausencia/Presencia.
Imagen 24: Muestra posterior 2  **Fuente:** Propia	Muestra posterior al método de Ausencia/Presencia.
Resultado	Presencia

Muestra 3 = Presencia

Imagen 25: Muestra anterior 3  **Fuente:** Propia	Muestra anterior al método de Ausencia/Presencia.

Imagen 26: Muestra posterior 3  **Fuente**: Propia	Muestra posterior al método de Ausencia/Presencia.
Resultado	Ausencia

Mientras que las imágenes 15 – 20 corresponden a las muestras tratadas que presentaron resultados negativos en el anterior estudio, las imágenes 21 – 26, se refieren a las muestras no filtradas después del estudio, las cuales según su coloración azul obtuvieron un resultado de coliformes totales y fecales positivo, afirmando el hecho de que por medio de la filtración rápida de arena pueden mejorarse las características microbiológicas de la calidad del agua.

6.2 Resultados obtenidos de la Información Censal:

Durante el censo se encuestó un total de 44 personas representantes de cada familia que aprovecha el servicio de agua en la vereda La Rápida, y a partir de esto se organizó toda la información suministrada en una tabla del software Excel, la cual se encuentra en el anexo 5. La tabla anteriormente mencionada contiene datos como el nombre del usuario o beneficiario, los usos que le da al agua, el número de personas que conforman su hogar, y la opinión sobre cada una de las características de la fuente de agua de la Quebrada Las Quinas, (olor, sabor, color, purificación y frecuencia). Finalmente se suma a toda esta información la respuesta de cada uno de los usuarios respecto a la presencia de enfermedades ocasionadas por el agua.

6.3 Resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos

A partir de las actividades efectuadas en el Laboratorio de Suelos, para los dos componentes de los lechos granulares se determinaron los siguientes resultados o pesos retenidos respectivamente:

6.3.1 Resultados Arena de Rio

Tabla 10: Pesos retenidos de la arena de río

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)
1/2"	12.5	4.79
3/8"	9.5	8.22
4"	4.75	23.97
8"	2.36	84.36
16"	1.18	101.7
30"	0.6	118.67
50"	0.3	102.09
100"	0.15	37.47
PLATILLO		15.3
		496.57

Fuente: Propia

6.3.2 Resultados Gravilla

Tabla 11: Pesos retenidos de la gravilla

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)
3/4"	19	25.5
1/2"	12.5	772.3
3/8"	9.5	958.1
4"	4.75	1398.7
10"	2	360
40"	0.425	71.6
PLATILLO		31.8
		3618

Fuente: Propia

6.4 Resultados obtenidos en el Levantamiento Topográfico

Los datos adquiridos durante el levantamiento topográfico simple, fueron 42 puntos correspondientes al terreno y a los detalles encontrados, cada uno de ellos con sus respectivas coordenadas, alturas, descripción y abreviatura. Esta información se organizó en una tabla del software Excel, y con base a ella se obtuvo el plano topográfico del terreno planimétrica y verticalmente.

Los datos conseguidos en el trabajo de campo se encuentran en el anexo 6 del presente escrito.

7 Análisis de Resultados

7.1 Comparación entre los datos en el laboratorio de Calidad de Aguas y el Decreto 1575 de 2007 de las normas para la calidad del agua potable en Colombia.

Durante el proceso de los estudios en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se realizaron un análisis de tipo físico que determinó sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos disueltos, turbiedad, y un análisis microbiológico en el cual se determinaron coliformes totales y fecales, y pH del agua del acueducto de la vereda La Rápida.

Según las normas nacionales del Decreto 1575 del 2007, el Capítulo 2 "CARACTERISTICAS FISICAS", el Capítulo 3 "CARACTERISTICAS MICROBIOLOGICAS" y el Capítulo 4 "INSTRUMENTOS BÁSICOS PARA GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO", de la calidad del agua potable, se establecieron criterios permisibles organolépticos y físicos para que el agua sea potable.

Considerando lo anterior se compararon los resultados obtenidos en el laboratorio de calidad del agua con los valores y parámetros, para las características físicas y microbiológicas, que estipula la norma y mencionada.

1) Sólidos Totales: Para el análisis de sólidos totales realizado al agua no filtrada, se determinó un rango de valores entre 0.0294g a 0.0710g, en contraste al realizado al agua tratada o filtrada se obtuvo un rango de valores de 0.0010g a 0.0014g. Según el decreto antes mencionado el valor admisible para el agua potable de los sólidos totales debe ser menor a 5mg o 0.005g, por lo tanto las muestras del agua tratada del acueducto de la vereda La Rápida, cumplen con los parámetros expedidos del Decreto 1575 en contraste con los resultados del agua cruda, demostrando así, la efectividad de la filtración para mejorar la calidad de esta agua.

2) Sólidos Sedimentables: El rango obtenido en cuanto a la cantidad del material sedimentado en los análisis al agua sin tratar, fue de 0.890cm a 1.460cm en el Cono Imhoff o expresado en otras unidades 0.018ml a 0.0797ml, y el rango conseguido con el agua filtrada fue de 0.000cm a 0.0059cm o 0.000ml a $5x10^{-9}$ml, valor que garantiza los beneficios de llevar un filtro a cabo ya que neutraliza y reduce significativamente los sólidos totales, con valores encontrados entre los parámetros admisibles (5ml), de las normas de la calidad del agua potable.

3) Turbiedad: Para este análisis se observó un rango del agua no filtrada entre 34.00 NTU a 41.46 NTU (Nephelometric Turbidity Unit o Unidades nefelométricas de turbidez), y para el agua filtrada un rango de 1.753 NTU a 1.897 NTU, según el Decreto 1575 de 2007 la turbiedad admisible no se debe sobrepasar de 2 NTU, consecuentemente el análisis para el agua filtrada cumple los parámetros requeridos en cuanto a turbiedad.

4) PH: Durante el análisis microbiológico de la práctica del laboratorio, se evidenció que el rango del pH de las muestras de agua sin tratar era de 7.24 a 7.37 unidades de PH con una temperatura de 17.9ºC, en contraste a las muestras filtradas de las que se evidencio un rango de 6.77 a 6.90 unidades de PH con una temperatura de 17.9ºC, lo cual indica que los últimos valores referentes al agua tratada son admisibles según el Decreto 1575, puesto que su rango de valores aceptables corresponden entre 6 a 9 unidades de pH.

5) Coliformes Totales y fecales: Para esta prueba por el método de presencia/ausencia se obtuvo que después de 24 horas la presencia de coliformes en las muestras sin tratar era positiva, sin embargo los resultados para las muestras filtradas indicaron ausencia de coliformes. Según la norma para la calidad del agua el análisis microbiológico de coliformes totales y fecales exige resultados de ausencia en 100 cm^3. Por lo tanto el sistema de filtración del agua funciono de manera adecuada para el análisis de coliformes totales y fecales.

Así concluyó el desarrollo de la metodología demostrando como el filtro propuesto puede optimizar la calidad del agua, en cuanto al proceso de estudio y análisis del agua de la muestra, en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

7.2 Análisis de los Materiales Granulares

Durante el desarrollo de las prácticas en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Distrital, se realizaron diversas actividades con las cuales se hallaron parámetros tales como clasificación granulométrica y coeficiente de uniformidad. Para efectuar la granulometría o clasificación granulométrica de los suelos que se emplearon, fue necesario calcular los porcentajes del material que dejaban pasar los tamices seleccionados. Dicho lo anterior en la tabla 12 se presentan los resultados obtenidos para la granulometría de la arena de río, y en la tabla 13 los resultados para la gravilla.

7.2.1 Granulometría

- ✓ Arena de Río

Tabla 12: Resultados de la granulometría para la arena de río

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	%PARCIAL RETENIDO	% ACOMULADO	
				RETENIDO	PASANTE
1/2"	12.5	4.79	0.96	0.96	99.03
3/8"	9.5	8.22	1.65	2.62	97.38
4"	4.75	23.97	4.82	7.44	92.55
8"	2.36	84.36	16.98	24.43	75.56
16"	1.18	101.7	20.48	44.91	55.08
30"	0.6	118.67	23.89	68.81	31.18
50"	0.3	102.09	20.55	89.37	10.62
100"	0.15	37.47	7.54	96.91	3.08
PLATILLO		15.3	3.08	100.00	0.00
		496.57	100.00		

Fuente: Propia

✓ Gravilla

Tabla 13: Resultados de la granulometría para la gravilla

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	%PARCIAL RETENIDO	% ACOMULADO	
				RETENIDO	PASANTE
3/4"	19	25.5	0.70	0.70	99.29
1/2"	12.5	772.3	21.34	22.05	77.94
3/8"	9.5	958.1	26.48	48.53	51.46
4"	4.75	1398.7	38.65	87.19	12.80
10"	2	360	9.95	97.14	2.85
40"	0.425	71.6	1.97	99.12	0.87
PLATILLO		31.8	0.87	100.00	0.00
		3618	100.00		

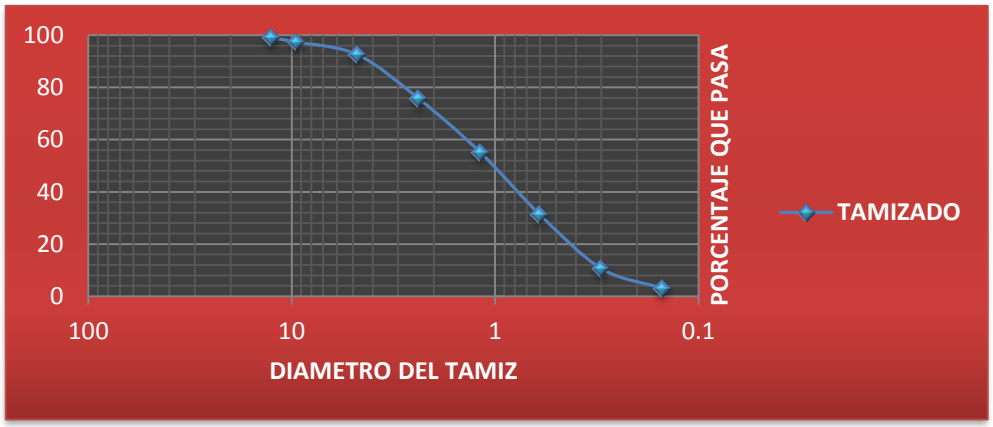
Fuente: Propia

7.2.2 Curvas Granulométricas

Para representar la estructura del suelo según el tamaño de los granos que lo conforman, se tuvo en cuenta los anteriores datos de la clasificación granulométrica y a continuación se ejecutaron las siguientes gráficas correspondientes a las curvas granulométricas de cada material.

✓ Arena de Río

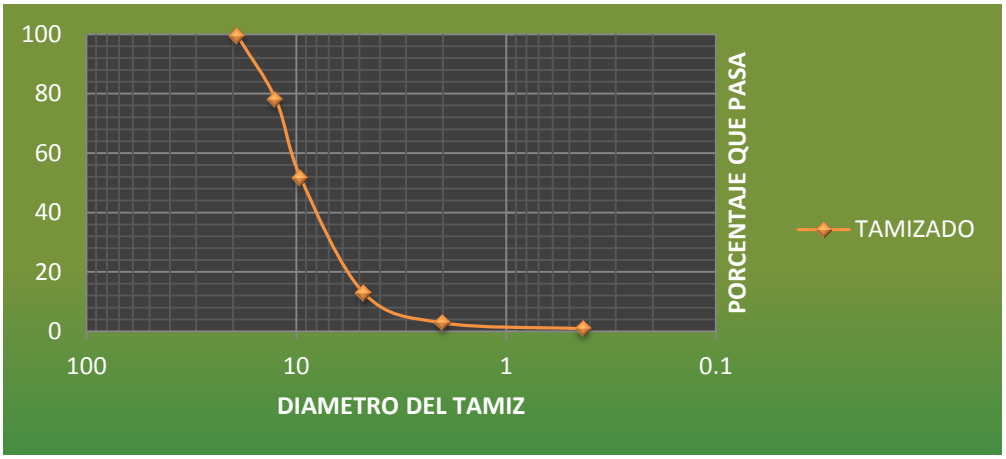
Gráfica 1: Curva granulométrica de la arena de río



Fuente: Propia

✓ Gravilla

Gráfica 2: Curva granulométrica de la gravilla



Fuente: Propia

7.2.3 Coeficiente de Uniformidad

A continuación se evaluó la uniformidad del tamaño de los granos de cada uno de los suelos, para esto se realizó la siguiente ecuación presentada, teniendo en cuenta los datos de la granulometría, donde:

Cu = Coeficiente de Uniformidad

✓ Arena de Río

$$\mathbf{Cu} = \frac{\text{Abertura 60\%}}{\text{Abertura 10\%}} = 7.86$$

✓ Gravilla

$$\mathbf{Cu} = \frac{\text{Abertura 60\%}}{\text{Abertura 10\%}} = 2.63$$

7.3 Estadística Descriptiva de la Información Censal

7.3.1 Cálculos de Porcentajes

Teniendo en cuenta la información censal organizada, se prosiguió a calcular los porcentajes de cada variable calificativa (olor, sabor, color, purificación, frecuencia y enfermedades), los cuales indican el porcentaje y número de personas que seleccionaron un calificativo para cada ítem o variable, sobre el total de la población que realizaron la encuesta para estimar la calidad de cada una de las seis características del agua.

Tabla 14: Porcentajes del olor y el sabor del agua

Olor			Sabor		
Variable	**No Persona**	**% Población**	**Variable**	**No Persona**	**% Población**
Excelente	34	17.89%	**Excelente**	35	18.42%
Bueno	109	57.37%	**Bueno**	109	57.37%
Regular	47	24.74%	**Regular**	46	24.21%
Malo	0	0.00%	**Malo**	0	0.00%

Fuente: Propia

Tabla 15: Porcentajes del color y la purificación del agua

Color			Purificación		
Variable	**No Persona**	**% Población**	**Variable**	**No Persona**	**%Población**
Excelente	43	22.63%	**Excelente**	20	10.53%
Bueno	118	62.11%	**Bueno**	84	44.21%
Regular	24	12.63%	**Regular**	81	42.63%
Malo	5	2.63%	**Malo**	5	2.63%

Fuente: Propia

Tabla 16: Porcentajes de frecuencia y enfermedades causadas por el agua

Frecuencia			Enfermedades		
Variable	**No Persona**	**%Población**	**Variable**	**No Persona**	**% Población**
Excelente	0	0.00%	**Si**	21	11.05%
Bueno	129	67.89%	**No**	169	88.95%
Regular	61	32.11%			
Malo	0	0.00%			

Fuente: Propia

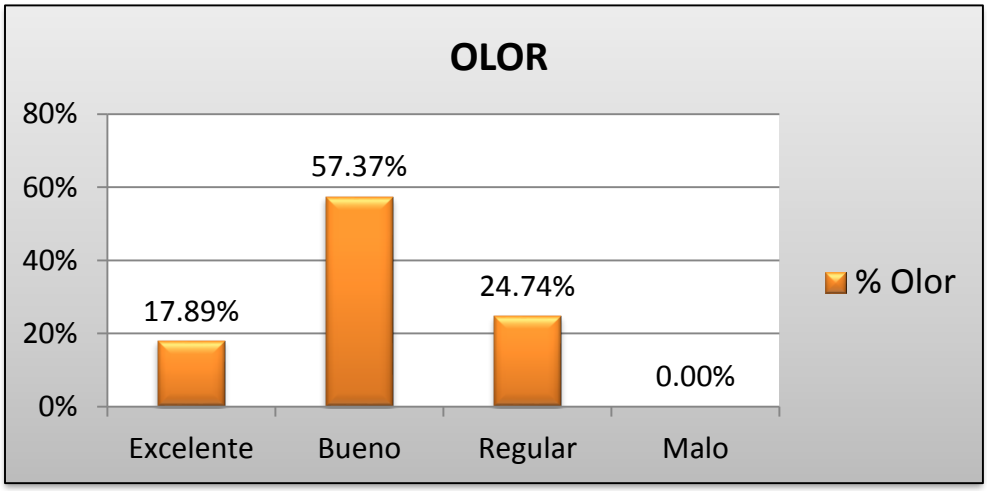
7.3.2 Gráficas de Ítems

Consiguiente a este proceso se efectuaron gráficas de barras y un gráfico circular, con el fin de comparar los porcentajes de los calificativos de cada característica.

- ✓ **Olor**

El primer parámetro o ítem representado, fue el porcentaje de los consumidores que escogieron una variable para evaluar el olor del agua.

Gráfica 3: Olor



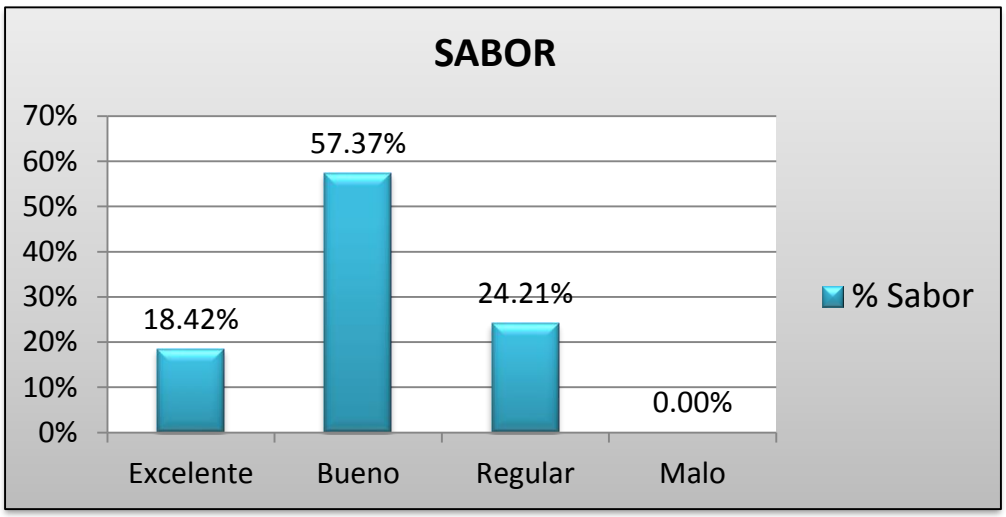
Fuente: Propia

Como resultado se obtuvo que el 17.89% de la población de la vereda La Rápida considera excelente el olor del agua, el 57.37% de la población considera buena esta característica del agua, el 24.74% de la población califica como regular el olor del agua.

- ✓ **Sabor**

La siguiente característica a representar gráficamente, el porcentaje calificativo que cada persona consideró acerca del sabor del agua.

Gráfica 4: Sabor



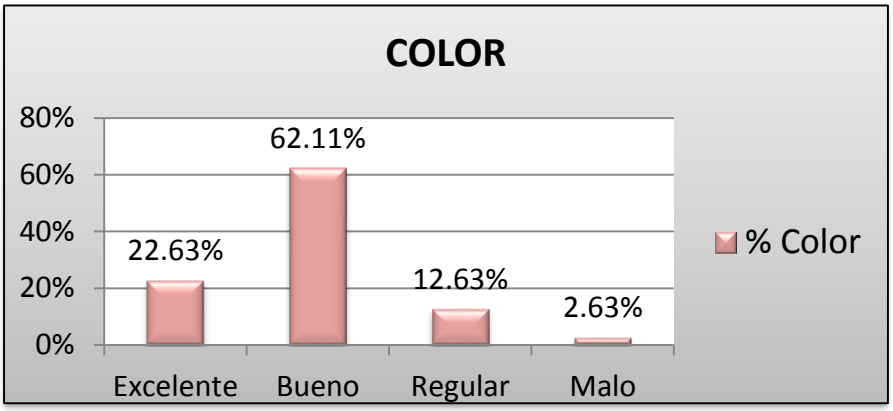
Fuente: Propia

En la Gráfica No. 4 Se obtuvo que el 18.42% de la población considera excelente el sabor del agua, el 57.37% de la población considera bueno el sabor del agua, el 24.21% de los consumidores califica el sabor como regular

- ✓ **Color**

La conformidad que tenía la población de la vereda La Rápida acerca del color se expresó en porcentajes en la siguiente gráfica presentada. En donde excelente se refiere a un color de agua transparente y malo a colores que difieran del anterior mencionado.

Gráfica 5: Color



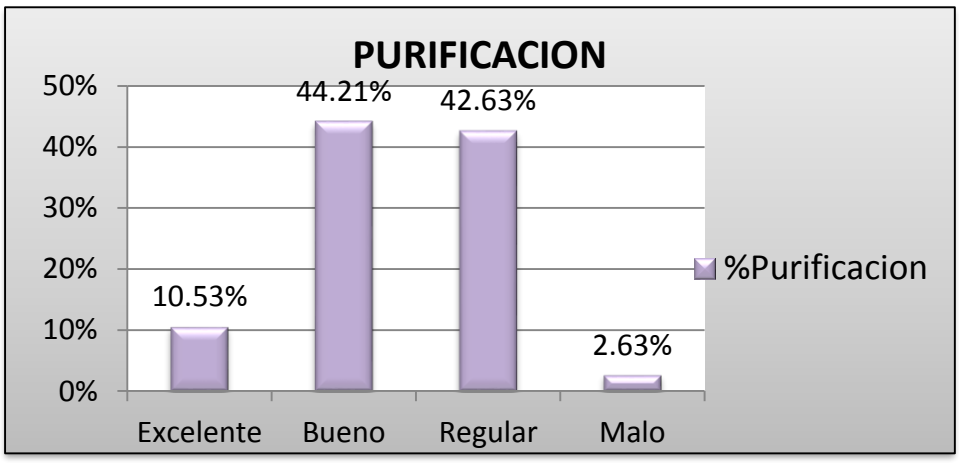
Fuente: Propia

Para el color 22.63% de los consumidores consideran excelente el color del agua, el 62.11% lo considera bueno, el 12.63% califica esta característica como regular y el 2.63% como malo.

- ✓ **Purificación**

El siguiente ítem representado se refiere a los porcentajes calificativos que escogió cada consumidor para determinar qué tan pura era el agua, en donde excelente se refiere que para el consumidor el agua se encontraba exento de otras entidades distintas al agua, y malo se refiere a la presencias de partículas suspendidas en el agua.

Gráfica 6: Purificación



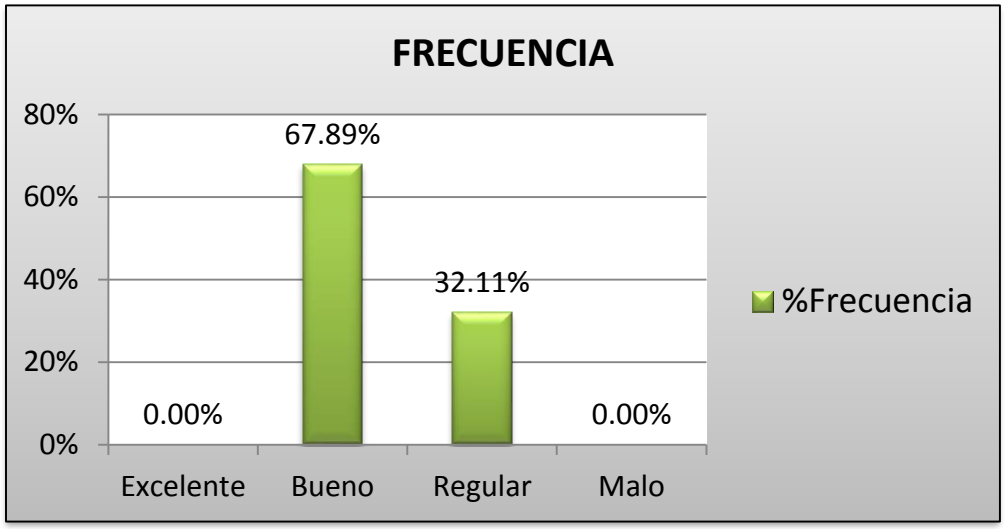
Fuente: Propia

Como resultado en la anterior representación gráfica se evidenció que el 10.53% de los consumidores considera excelente la purificación del agua, 44.21% bueno, 42.63% regular y el 2.63% de la población considera malo la purificación del agua.

- ✓ **Frecuencia**

La opinión en cuanto frecuencia del agua se representa en la siguiente gráfica en donde excelente se refiere a la presencia constante del servicio de agua, y el calificativo malo se refiere a la ausencia de esta.

Gráfica 7: Frecuencia



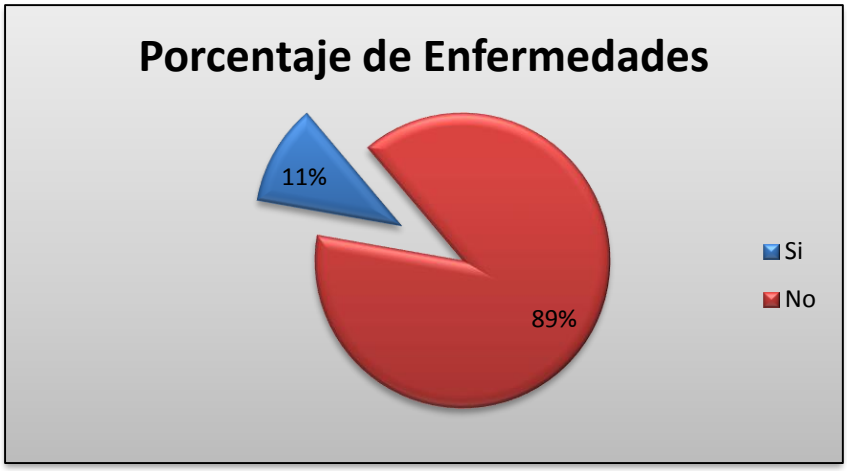
Fuente: Propia

Como resultado de la anterior gráfica de barras se concluyó que el 67.89% de la comunidad considera buena la frecuencia del agua, y el 32.11% regular.

✓ **Porcentaje de Enfermedades**

El siguiente gráfico circular o gráfico de torta, expresa la afirmación o negación de experiencias vinculadas a enfermedades causadas por el agua.

Gráfica 8: Enfermedades causadas por el agua



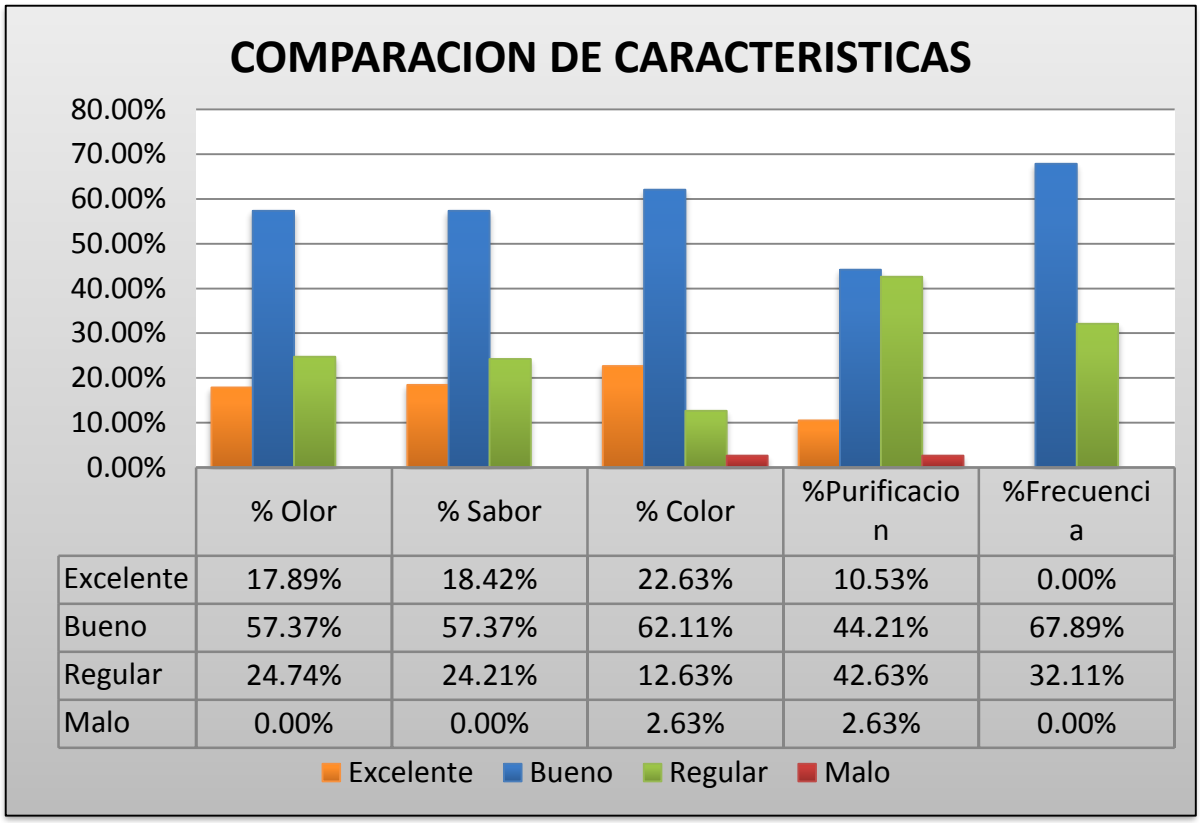
Fuente: Propia

Gracias al anterior gráfico de torta se determinó que el 11% de la población ha tenido enfermedades a causa del agua, y el 89% de la población no ha tenido enfermedades causadas por el agua.

✓ **Comparación de las Características**

Teniendo en cuanta los porcentajes de las anteriores características se realizó un último gráfico que representa la comparación de los ítems ya mencionados.

Gráfica 9: Comparación de las características



	% Olor	% Sabor	% Color	%Purificacion	%Frecuencia
Excelente	17.89%	18.42%	22.63%	10.53%	0.00%
Bueno	57.37%	57.37%	62.11%	44.21%	67.89%
Regular	24.74%	24.21%	12.63%	42.63%	32.11%
Malo	0.00%	0.00%	2.63%	2.63%	0.00%

Fuente: Propia

8 Observaciones

- ✓ Gracias al filtro de prueba elaborado, se optimizaron características tanto microbiológicas como físicas de la calidad del agua de la Quebrada Las Quinas. Esto se afirmó al comparar los resultados de los análisis efectuados en el laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, debido a que se disminuyeron los pormenores del agua y en el caso del estudio "sólidos sedimentables" se neutralizaron. De acuerdo a esta información se corroboró como la implementación de un sistema para la purificación del agua por medio de la filtración directa, fue viable para la comunidad de la vereda La Rápida.
- ✓ Los tipos de suelos seleccionados (arena de río y gravilla) para realizar los lechos granulares, presentaron cualidades apropiadas para el sistema de filtración propuesto, ya que durante el tratamiento del agua proveniente de la vereda La Rápida, en el cual se demostró la efectividad del sistema ya mencionado por medio de un filtro de prueba, se corroboró el éxito de la retención de partículas suspendidas en el agua gracias a los materiales granulares. Además de la filtración efectuada se pudo concluir la efectividad de los suelos según los coeficientes de uniformidad, y la granulometría realizada en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, puesto que a partir de la clasificación granulométrica se obtuvo un coeficiente de uniformidad para la arena de rio con alta variedad en el tamaño de sus granos, lo cual es favorable para la retención de partículas con distintas dimensiones.
- ✓ A partir de la información censal recolectada fue factible deducir el principal problema del agua que suple a la vereda La Rápida, según las encuestas determinadas por la comunidad que aprovechan este servicio, las impurezas y partículas encontradas en el agua son la principal falencia que esta presenta, puesto que 81 personas de 190, o el 42.63% sobre el 100% de la población de La Rápida, califican la purificación de este recurso como regular. Sin embargo la característica más calificada de manera negativa por los consumidores, resulta ser la principal cualidad a mejorar en el agua por medio de un filtro rápido. Así, es posible

garantizar que el sistema de filtración ya probado, puede mejorar las falencias de la purificación del agua, aparte de otros inconvenientes que esta presentase.

- ✓ Durante el desarrollo de la toma del agua de la Quebrada Las Quinas se observó que algunas cualidades como el color, y la pureza del agua, variaban conforme a los distintos días en que se realizaban estas actividades. Esto se ocasionó por diversas circunstancias ambientales que presentó el entorno de esta fuente de agua, principalmente los cambios climáticos en los cuales se incrementó las lluvias provocando a su vez deslizamientos de tierras en la zona. De igual manera se distinguieron días con temperaturas muy altas, en las cuales el nivel del agua de la quebrada no era lo suficientemente alto y a causa de esto se generaba el estancamiento del agua en algunas partes de esta fuente. A partir de estos eventos las características del agua ya mencionadas se vieron afectadas, y denotaron algunas variaciones de muestreo en los resultados de los laboratorios efectuados para determinar la calidad del agua.
- ✓ En el estudio elaborado con los materiales granulares en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se determinaron varios resultados por medio de la granulometría los cuales fueron esenciales para generar las curvas granulométricas. En cuanto al comportamiento de cada material granular se pudo evidenciar que la gravilla seleccionada presenta una conducta más uniforme en los tamaños de sus granos que el de la arena de río, esta comparación se argumenta debido a que un coeficiente de uniformidad presenta dos posibilidades, si el coeficiente es menor a 3, los granos de dicho suelo se consideraran muy uniformes, y a medida que sea mayor, los granos del suelo se consideraran mejor graduados. Como los resultados obtenidos para los coeficientes de la arena de río y la gravilla dieron 7.867 y 2.632 respectivamente, se concluyó que la arena estaba mejor gradada que la gravilla, que consecuentemente presentaba granos con tamaños más similares.
- ✓ Gracias al levantamiento topográfico simple efectuado y al dibujo del terreno diseñado en el Software AutoCAD Civil 2015, se evidencio que la zona establecida para la ubicación del filtro propuesto contaba con un terreno homogéneo, en otros términos presentaba un desnivel altimétrico despreciable. Debido a esto, fue

conveniente ubicar el sistema propuesto en el área precisada del terreno, ya que el diseño de purificación se situó entre dos curvas de nivel secundarias con una diferencia de cotas en centímetros. De esta manera se concluyó que el terreno levantado topográficamente manifestaba condiciones propicias para el filtro rápido de arena.

- ✓ Los análisis "sólidos sedimentables" y "coliformes totales y fecales" que se efectuaron para determinar la calidad del agua filtrada de la Quebrada Las Quinas, manifestaron la anulación de los resultados negativos que se obtuvieron en el agua sin filtrar analizada, a pesar que durante el desarrollo de los demás estudios elaborados al agua, se evidencio la disminución de los aspectos negativos gracias a la filtración, es claro que el sistema de purificación propuesto influyo más en las observaciones de sólidos sedimentables y coliformes totales. Demostrando así, que la filtración rápida con arena, remueve más las partículas y bacterias sedimentadas en el agua que otras falencias a tratar por distintos tipos de estudios.
- ✓ Por medio de los resultados obtenidos en el Laboratorio de Calidad de Aguas tanto para el agua no filtrada como para el agua tratada, se pudo inducir que la implementación de un filtro rápido de arena en el acueducto de la Quebrada Las Quinas es conveniente para la población de la vereda La Rápida, no obstante es necesario reconocer que los procesos de purificación ya existentes en el acueducto de esta quebrada tienen efectos favorables para la potabilización del agua. Partiendo de la información obtenida en las encuestas determinadas por los consumidores del recurso, la mayoría de personas calificaron positivamente cada una de las características que presentaba el agua con la variable "excelente" y "buena", dándole una denotación provechosa. Finalmente aunque los estudios de la calidad del agua evidenciaron que la mayoría de sus características no cumplen los parámetros admisibles dictados en el DECRETO 1575 DEL 2007, las observaciones de PH y sólidos sedimentables para el agua sin filtrar cumplen con los parámetros especificados por el Ministerio de Protección Social de Colombia establecidos por el decreto ya mencionado.

9 Conclusiones

- Las actividades realizadas durante la metodología del trabajo de grado fue posible diseñar el sistema de filtración directa para mejorar la calidad del agua en la Quebrada Las Quinas, dicho sistema o el filtro de arena rápido se llevó a cabo teniendo en cuenta las especificaciones granulométricas y dimensionales ya mencionadas.
- El levantamiento de información censal se identificó la cantidad de personas favorecidas con el diseño del filtro rápido, además de sus opiniones respecto a las características de la calidad del agua.
- El terreno apropiado para la ubicación del filtro se determinó por medio del levantamiento topográfico simple, el cual se efectuó entre los dos sistemas de purificación y distribución del agua, es decir entre el desarenador y la caja de distribución.
- Por medio de los laboratorios realizados para determinar la calidad del agua, se comprobó que el sistema filtrante diseñado mejoró varios aspectos negativos del agua, y en algunos casos como en el estudio de sólidos sedimentables erradico las falencias.
- Durante el desarrollo de los laboratorios de suelos fue factible definir el coeficiente de uniformidad, la granulometría y las curvas granulométricas tanto para la arena de río como para la gravilla, demostrando así, la afectividad de ambos suelos para la filtración.

10 Bibliografía

Arboleda, J. (1981). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. CEPIS.

Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Vol. 2). Tercera.

AutoOpte0071, 0071 (Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca 23 de Enero de 2014).

CEPIS/OPS. (2007). Tratamiento de aguas para consumo humano. *Virtual pro*, 35-40.

Gámez, L. (2012). *Diseño de plantas potabilizadoras*. Recuperado el 2016, de Universidad Nacional Abierta y a Distancia: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Diseno_de_Plantas_Potabilizadoras/ficha_tcnica.html

INVIAS. (2007). *Norma I.N.V E - 123- 07.*

Ministerio. (2007). *Decreto No. 1575 de 2007.* Colombia.

OOCITIES.ORG. (Octubre de 2009). *OOCITIES*. Recuperado el 2016, de http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/filtracion.htm

Pérez, J. (1981). Tratamiento de aguas.

Rosario, B., Nadia, G., Moralesl, V., & Alejandra, G. (Mayo de 2012). *Análisis granulométrico.* Recuperado el 2016, de Universidad Nacional Autónoma de México: http://cozumel.fi-a.unam.mx/~pinilla/Proyectos/2012-2/PE/05.pdf

Severiche, C., Bertel, M., & Barrios, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Básicoquímicos en la Determinación del Agua.* Cartagena de Indias.

Sundaresan, B., Huisman, L., Azevedo, J., Lanoix, J., & Hofkes, E. (1988). *Sistema de Abastecimiento de Agua para* (Tercera ed., Vol. 2). Lima.

Yactayo, V. (2005). *Plantas de Filtración Rápida: Manual IV: Operación, mantenimiento y control de calidad.* Biblioteca Virtual en Salud y Ambiente del Centro Panamericano. Obtenido de Biblioteca virtual de salud y ambiente del centro Panamericano.

Yactayo, V. (2006). Plantas de Filtración Rápida. Manual I: Teoría Tomo I y II. Biblioteca Virtual en Salud y Ambiente del Centro Panamericano.

11 Anexos

Documentos:

- ✓ Anexo 1: Carta de aprobación para el uso del laboratorio de la Calidad de Agua, de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas para el periodo académico 2015-2.
- ✓ Anexo 2: Carta de aprobación para el uso del laboratorio de la Calidad de Agua, de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas para el periodo académico 2016-1.
- ✓ Anexo 3: Carta de aprobación para el uso del laboratorio de suelos de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- ✓ Anexo 4: Encuesta a la población de la vereda La Rápida sobre su satisfacción respecto al agua.
- ✓ Anexo 5: Resultados obtenidos de la información censal.
- ✓ Anexo 6: Resultados obtenidos en el levantamiento topográfico.

Planos:

- ✓ Anexo 7: Plano 1 Mapa de localización de la vereda La Rápida.
- ✓ Anexo 8: Plano 2 Planta del terreno
- ✓ Anexo 8: Plano 2 Perfil longitudinal de la superficie
- ✓ Anexo 8: Plano 2 Vista del objeto en 3D
- ✓ Anexo 9: Plano 3 Puntos de distribución del acueducto de la quebrada Las Quinas
- ✓ Anexo 10: Plano 4 Diseño propuesto del filtro de arena